



TUGAS AKHIR - RG 141536

ANALISIS POTENSI KAMERA *SMARTPHONE* UNTUK PEMODELAN 3 DIMENSI DENGAN FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT

ILYAS KALYUBI
NRP 03311340000088

Dosen Pembimbing
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA
Husnul Hidayat, S.T., M.T

Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja di kosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

SMARTPHONE CAMERAS POTENTIAL ANALYSIS FOR 3D MODELING USING CLOSED RANGE PHOTOGRAMMETRY

ILYAS KALYUBI
NRP 03311340000088

Supervisor
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA
Husnul Hidayat, S.T., M.T

Geomatics Engineering Department
Faculty of Civil Engineering, Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

ANALISIS POTENSI KAMERA SMARTPHONE UNTUK PEMODELAN 3 DIMENSI DENGAN FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT

Nama : Ilyas Kalyubi
NRP : 03311340000088
Departemen : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Agung Budi Cahyono, S.T, M.Sc, DEA
Husnul Hidayat, S.T, M.T

ABSTRAK

Perkembangan teknologi kamera *smartphone* pada saat ini semakin maju, bahkan hampir menyamai kamera DSLR, dimana kamera DSLR sendiri sudah mulai digunakan dalam kegiatan fotogrametri jarak dekat. Dengan berkembangnya teknologi yang terdapat pada kamera *smartphone*, maka dari itu kamera *smartphone* dapat dijadikan pilihan pada kegiatan fotogrametri jarak dekat dalam hal pemodelan 3D.

Penelitian ini merupakan metode akuisisi pemodelan tiga dimensi menggunakan tiga *smartphone* dengan *level* kamera yang berbeda, yaitu Redmi note 3 Pro, Samsung A5(2017), dan iPhone 7 Plus. Kemudian dilakukan kalibrasi laboratorium menggunakan papan kolimator berupa papan catur dengan ukuran 3cm x 3cm pengambilan foto dilakukan dari berbagai sudut dengan total gambar 12 foto. Data yang dihasilkan berupa 7 parameter IOP (Interior Orientation Parameter). Kalibrasi tersebut dilakukan menggunakan software yang terdapat pada Matlab. Setelah itu dilakukan pengambilan data berupa poligon untuk koordinat titik kontrol, *Ground Control Point* (GCP), dan *Independent Control Point* (ICP) menggunakan *Electronic Total Station*. Dari pengambilan data tersebut didapatkan 4 titik kontrol, 7 buah GCP

pada objek untuk georeferencing, dan 29 titik ICP yang tersebar pada objek yang sudah diberi tanda berupa marker. Pemodelan dilakukan dengan bantuan *software* pengolahan foto dengan metode *Structure From Motion* (SfM). Analisis yang dilakukan yaitu membandingkan ICP pada Model 3D setiap kamera dengan menghitung RMSE.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kamera *smartphone* mampu membentuk 3 dimensi. Dari hasil analisis yang didapat dari ketiga model memiliki RMSE sebesar <0.5 meter dimana dengan toleransi tersebut model 3D masuk dalam kategori LoD3. Untuk perbandingan ICP yang diuji didapatkan hasil yang tidak terlalu signifikan karena perbedaan nilai yang didapat tidak terlalu besar. Dari uji t setiap kamera *smartphone* menunjukkan bahwa *smartphone* iPhone 7 Plus memiliki performa yang tinggi disusul dengan Samsung A5 (2017) dan terakhir Redmi Note 3 Pro. Dengan nilai sebesar: Samsung A5 (2017) 87.35%, iPhone 7 plus 93.10%, dan Redmi Note 3 Pro 83.90%.

Kata Kunci: *Smartphone, Level of Detail, Fotogrametri Jarak Dekat.*

**SMARTPHONE CAMERAS POTENTIAL ANALYSIS FOR
3D MODELING USING CLOSED RANGE
PHOTOGRAMMETRY**

Name : Ilyas Kalyubi
NRP : 03311340000088
Department : Teknik Geomatika
Supervisor : Agung Budi Cahyono, S.T, M.Sc, DEA
Husnul Hidayat, S.T, M.T

ABSTRACT

The development of smartphone camera technology at this time is more advanced, even almost catching up to DSLR cameras performance, where DSLR cameras themselves have started to be used in close range photogrammetry activities. With the development of technology contained in the smartphone camera, it can be selected on the activities of close-range photogrammetry in terms of 3D modeling.

In this study, will acquire 3D modeling using three smartphones with different camera levels, which are Redmi note 3 Pro, Samsung A5 (2017), and iPhone 7 Plus. A laboratory calibration is then performed using collimator board in the form of a chessboard with a size of 3cm x 3cm taking photos that are taken from various angles with a total of 12 images. Calibration is done using the software contained in Matlab that deliver 7 parameters data of IOP (Interior Orientation Parameter). Afterwards, data is taken in the form of polygons for control point coordinates, Ground Control Point (GCP), and Independent Control Point (ICP) using Electronic Total Station. The resulting data consist of 4 point control, 7 GCP on the object for georeferencing, and 29 ICP points placed on the marked object. The modeling can be done with the help of photo processing software with Structure From Motion (SfM) method. The analysis

performed comparing ICP to 3D models on each camera by computing each RMSE.

The result of this study indicates that the smartphone camera is able to provide the model in accordance with the actual object. From the analysis result for all three models obtained RMSE <0,5m, with that tolerance, the 3D model are caterogized as LoD3 category. From the comparison of ICP tested, the results obtained are not very significant because the difference between each value wasn't too large. Based on t-test of each Smartphone camera showed if iPhone 7 Plus has the best performance followed by Samsung A5 (2017) and lastly Redmi Note 3 Pro. With the following value: Samsung A5 (2017) 87.35%, iPhone 7 plus 93.10%, and Redmi Note 3 Pro 83.90%

Kata Kunci: Smartphone, Level of Detail, Close Range Photogrammetry.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS POTENSI KAMERA *SMARTPHONE* UNTUK PEMODELAN 3 DIMENSI DENGAN FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT

TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ILYAS KALYUBI
NRP 0331134000087

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA
NIP. 19690520 199903 1 002
Husnul Hidayat, S.T., M.T
NIP. 19900807 201504 1 001

()
()

SURABAYA, JULI 2018



“Halaman ini sengaja di kosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya sampaikan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk tugas akhirnya yang berjudul **“ANALISIS POTENSI KAMERA *SMARTPHONE* UNTUK PEMODELAN 3 DIMENSI DENGAN FOTOGRAOMETRI JARAK DEKAT”** dengan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian untuk tugas akhir penulis ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang penulis, Bapak Ano Karna S dan Ibu Imas Kurniasih yang selalu memberikan doa dan dukungannya untuk kelancaran penelitian ini.
2. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Bapak Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA. dan Husnul Hidayat, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing penulis dan dosen wali penulis. Terima kasih atas kesempatan, kesabaran serta dukungan dalam bimbingan hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Teman-teman Jurusan Teknik Geomatika ITS, khususnya angkatan 2013 atas dukungan dan semangat yang telah diberikan.
5. Teman-teman yang membantu proses pengukuran untuk pengambilan data penelitian (Alif Fariq Setiawan, Aryan Prasetyo Adji, dan Lio)
6. Teman-teman yang bersedia meminjamkan peralatan berupa *smartphone* (Sarah jeihan IP dan Brian)
7. Teman-teman laboratorium KKP Teknik Geomatika ITS yang telah memberi masukan dan saran dalam penyelesaian.
8. Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk penyempurnaan penelitian ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR PERSAMAAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Fotogrametri Jarak Dekat	3
2.2 Segmentasi Pasar <i>Gadget</i>	6
2.2.1. <i>Entry-Level</i>	6
2.2.2. <i>Mainstream</i>	7
2.2.3. <i>High-End</i>	8
2.3 Pemodelan 3D	8
2.4 RMSE	9
2.4.1. <i>Root mean Square Error (RMSE)</i>	9
2.5 Level of Detail	10
2.6 Kalibrasi Kamera	12
2.7 Distorsi	14
2.8 <i>Structure from Motion</i>	16
2.9 Spesifikasi Kamera	17
2.9.1 Spesifikasi iPhone 7 Plus	17
2.9.2 Spesifikasi Samsung A5 (2017)	18
2.9.3 Spesifikasi Xiomi	19

2.10 Kamera.....	19
2.9.1. Sensor Kamera	21
2.11 Marker.....	21
2.12 Penelitian Terdahulu	22
BAB III METODOLOGI	25
3.1 Lokasi Penelitian.....	25
3.2 Peralatan dan Data	26
3.2.1 Peralatan.....	26
3.2.2 Data	26
3.3 Metodologi.....	27
3.3.1 Tahap Penelitian.....	27
3.3.2 Tahap Pengolahan Data.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil.....	31
4.1.1 Foto Objek.....	31
4.1.2 Kalibrasi Kamera.....	32
4.1.3 Titik Kontrol.....	33
4.1.4 GCP dan ICP	34
4.1.5 Model 3D Kamera Samsung A5 (2017).....	37
4.1.6 Model 3D Kamera iPhone 7 plus	39
4.1.7 Model 3D kamera Redmi Note 3 Pro.....	41
4.2 Analisis	43
4.2.1 Model 3D	43
4.2.3 Analisis Ketelitian Geometri.....	45
4.2.4 Analisis Statistik.....	53
4.2.5 <i>Level of detail</i>	67
BAB V Kesimpulan dan Saran.....	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN	75
BIODATA PENULIS.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1.	<i>Principle of Photogrammetric Measurement</i>	6
Gambar 2. 2	<i>Level of Detail</i> (Fan & Meng 2009)	11
Gambar 2. 3	Papan Kolimator.....	14
Gambar 2. 4	(a) <i>pinchusion distortion</i> , (b) <i>barrel distortion</i>	15
Gambar 2. 5	<i>Structure from Motion</i>	17
Gambar 2. 6	Marker Untuk Penanda ICP.....	21
Gambar 3. 1	Lokasi Penelitian	25
Gambar 3. 2	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3. 3	Diagram Alir Pengolahan Data.....	29
Gambar 4. 1	Sampel Foto.....	31
Gambar 4. 2	Sketsa <i>Polygon</i>	33
Gambar 4. 3	Persebaran Titik GCP dan ICP Pada Model 3D ...	36
Gambar 4. 4	Posisi Kamera Samsung	37
Gambar 4. 5	Hasil <i>Point Cloud</i>	37
Gambar 4. 6	Hasil <i>Dense Cloud</i>	38
Gambar 4. 7	Hasil <i>Texture</i>	38
Gambar 4. 8	Posisi Kamera iPhone.....	39
Gambar 4. 9	Hasil <i>Point Cloud</i>	39
Gambar 4. 10	Hasil <i>Dense Cloud</i>	40
Gambar 4. 11	Hasil <i>Texture</i>	40
Gambar 4. 12	Posisi Kamera Redmi Note 3 Pro	41
Gambar 4. 13	Hasil <i>Point Cloud</i>	41
Gambar 4. 14	Hasil <i>Dense Cloud</i>	42
Gambar 4. 15	Hasil <i>Texture</i>	42
Gambar 4. 16	Model Bagian Atap Objek.....	43
Gambar 4. 17	Pemberian Marker Untuk ICP dan GCP.....	44
Gambar 4. 18	Proses <i>Masking</i>	45
Gambar 4. 19	Grafik kesalahan 3D Samsung A5 (2017)	48
Gambar 4. 20	Grafik Kesalahan 3D iPhone 7 Plus	50
Gambar 4. 21	Kesalahan 3D Redmi Note 3 Pro.....	52

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Persyaratan Akurasi LoD (Fan & Meng 2009)	12
Tabel 2. 2	Spesifikasi iPhone 7 Plus	17
Tabel 2. 3	Spesifikasi Samsung A5 2017	18
Tabel 2. 4	Spesifikasi Redmi Noe 3 Pro.....	19
Tabel 4. 1	Nilai Kalibrasi Kamera Smartphone	32
Tabel 4. 2	Koordinat Titik Kontrol	33
Tabel 4. 3	Titik GCP	34
Tabel 4.4	Titik ICP.....	35
Tabel 4. 5	Koordinat ICP dari pengukuran ETS	45
Tabel 4. 6	Kesalahan Koordinat ICP Model dan Lapangan	47
Tabel 4. 7	Kesalahan Koordinat ICP Model dan Lapangan	49
Tabel 4. 8	Kesalahan Koordinat ICP Model dan Lapangan	51
Tabel 4. 9	Uji t student Pada Koordinat X	53
Tabel 4. 10	Uji t <i>student</i> Pada Koordinat Y	55
Tabel 4. 11	Uji t <i>student</i> Pada Koordinat Z.....	56
Tabel 4. 12	Uji t <i>student</i> Pada Koordinat X	58
Tabel 4. 13	Uji t <i>student</i> Pada Koordinat Y	59
Tabel 4. 14	Uji t <i>student</i> Pada Koordinat Z.....	61
Tabel 4. 15	Uji t <i>student</i> Pada Koordinat X	62
Tabel 4. 16	Uji t <i>student</i> Pada Koordinat Y	64
Tabel 4. 17	Uji t <i>student</i> Pada Koordinat Z.....	65

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2. 1	RMSE Koordinat X.....	9
Persamaan 2. 2	RMSE Koordinat Y.....	9
Persamaan 2. 3	RMSE Koordinat Z.....	9
Persamaan 2. 4	Error 3D per Titik.....	9
Persamaan 2. 5	<i>Distorsi</i> Radial X	15
Persamaan 2. 6	<i>Distorsi</i> Radial Y.....	15
Persamaan 2. 7	Jarak Radial.....	15
Persamaan 2. 8	Pergeseran Sumbu X.....	16
Persamaan 2. 9	Pergeseran Sumbu Y	16
Persamaan 2. 10	Jarak Radial.....	16

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fotogrametri jarak dekat merupakan teknologi fotogrametri untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam dengan kamera. Dalam perekaman tersebut, kamera diletakkan di permukaan bumi (terestris) dengan jarak antara objek yang diukur dengan kamera tidak lebih dari 100 meter. Hasil dari penelitian sebelumnya dapat diketahui bahwa ketelitian yang didapat dari metode fotogrametri jarak dekat mencapai 1:2000 (Hanifa 2007).

Perkembangan kebutuhan visualisasi objek 3 dimensi (3D) pada saat ini kian diminati tidak hanya untuk visual semata tetapi banyak kegunaan untuk meningkatkan daya tarik tersendiri terhadap bentuk arsitektur. Selain itu pemodelan 3D dapat digunakan untuk mendokumentasikan cagar budaya.

Penggunaan kamera amatir untuk kebutuhan visualisasi 3D pada penelitian terdahulu pernah dilakukan pada objek bangun untuk fasilitas seperti Gereja Bleduk di Semarang (Bayuaji 2015), Tugu Muda di Semarang (Wahyunanto 2015 dalam Bayuaji 2015), Gedung NASDEC ITS di Kampus ITS Sukolilo (Hidayat dan Cahyono 2012). Untuk pemodelan 3D Tugu Muda dan Gereja Bleduk menggunakan metode fotogrametri jarakdekat dengan kemarean nonmetric. Pada penelitian gedung NASDEC (Hidayat dan Cahyono 2012) menggunakan kamera amatir digital terkalibrasi

Perkembangan teknologi komunikasi pada saat ini semakin canggih terutama untuk kalangan *smartphone* yang dilengkapi dengan kamera meanarik untuk dikaji.

Hal ini dikarenakan teknologi yang ada pada perangkat *smartphone* terutama pada teknologi kamera yang terpasang di *smartphone* memiliki kemampuan yang berbeda level. Penelitian ini menggunakan berbagai spesifikasi kamera pada handphone yang berbeda yang sesuai pembagian segmen pasar yaitu *entry-level*, *mainstream*, *high-end*

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pembuatan model 3D dengan metode photogrametri jarak dekat dengan menggunakan kamera *smartphone*.
2. Menganalisis potensi hasil 3D kamera *smartphone* berdasarkan LoD yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

1. Pengambilan foto objek dengan menggunakan iPhone 7 Plus, Samsung A5 (2017), dan Redmi Note 3 Pro.
2. Kalibrasi yang digunakan menggunakan metode kalibrasi laboratorium.
3. Algoritma pemodelan menggunakan SFM (*structure Form Motion*).

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kemampuan kamera *smartphone* berdasarkan parameter kalibrasi dan geometri titik cek dari koordinat 3D.
2. Menganalisis LoD pada model 3D pada setiap hasil kamera *smartphone*.

1.5 Manfaat Penelitian

Mengetahui hasil dari penggunaan berbagai jenis kamera *smartphone* membandingkan hasil yang lebih dominan untuk pemodelan 3D dilihat dari segi ketelitian dan tekstur..

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fotogrametri Jarak Dekat

Fotogrametri dapat diartikan sebagai seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu objek fisik dan keadaan di sekitarnya melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi citra fotografis atau rekaman pola radiasi elektromagnetik. sedangkan fotogrametri udara menggunakan wahana berupa pesawat untuk melakukan pemotretan melalui udara (Wolf 2000). Fotogrametri udara pada dasarnya digunakan untuk memetakan daerah topografi, sedangkan fotogrametri terrestrial biasa diaplikasikan untuk kasus di luar pemetaan topografi. Fotogrametri nontopografi, fotogrametri jarak dekat, dan spesial fotogrametri dipakai untuk mendeskripsikan aplikasi fotogrametri di luar area pemetaan topografi (ASPRS 1989). Fotogrametri jarak dekat adalah teknologi fotogrametri untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan intrepetasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam dengan kamera yang terletak di permukaan bumi (terestris). Istilah fotogrametri jarak dekat diperkenalkan sebagai suatu Teknik fotogrametri dengan jarak antara kamera dengan objek kurang dari 100 m. (Atkinson 1996).

Dalam bidang geodesi, metode fotogrametri jarak dekat ini banyak dimanfaatkan karena dapat memberikan informasi jarak, luas, volume. Dari hasil pengukuran dengan metode fotogrametri jarak dekat dapat diperoleh koordinat tiga dimensi dalam sistem foto. Untuk itu agar dapat dibandingkan dengan koordinat yang sebenarnya maka harus dilakukan transformasi ke sistem koordinat tanah.

Fotogrametri jarak dekat banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang non topografi karena memiliki banyak keunggulan. Aplikasi yang berkembang antara lain dalam bidang arsitektur, arkeologi, forensik, medis, deformasi, industri dan lainnya.

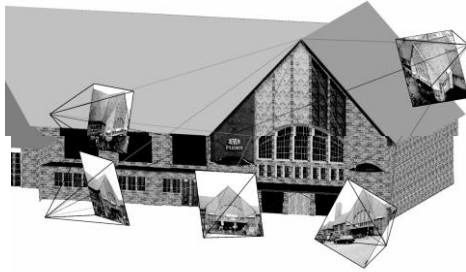
Beberapa kelebihan dari fotogrametri jarak dekat adalah:

1. Tidak melakukan kontak langsung terhadap objek selama pengukuran sehingga dapat digunakan untuk mengukur objek yang sulit diakses (Thompson 1962 dalam Atkinson 1996).
2. Akuisisi data dapat dilakukan dengan cepat dan dapat digunakan untuk memproses terkait dengan ukuran objek (Atkinson 1996).
3. Dapat digunakan untuk mengukur objek yang relatif kecil dan atau tidak beraturan (Thompson 1962 dalam Atkinson 1996).
4. Memiliki nilai yang ekonomis terutama untuk pengukuran objek yang sifatnya kompleks.
5. Foto adalah dokumen yang terkait dengan waktu dan dapat disimpan dalam format digital sehingga dapat dipakai jika sewaktu-waktu dibutuhkan.
6. Evaluasi dari foto dapat dilakukan kapanpun di laboratorium. Pengulangan pemotretan dan penambahan selalu bisa dilakukan dan bisadioptimalkan menurut permintaan pengguna.

Namun di samping kelebihan, juga ada beberapa kelemahan dari fotogrametri jarak dekat, yaitu (Leitch 2002 dalam Hanifa 2007):

1. Hasil ukuran tidak dapat diperoleh secara langsung mengingat perlu dilakukan pengolahan dan evaluasi.
2. Kebutuhan akan spesialisasi dan peralatan pendukung yang mahal dapat mengakibatkan harga yang tinggi dalam implementasi.
3. Kesalahan selama pengambilan dan pengolahan foto dapat menyulitkan pekerjaan.

Pada prinsipnya metode fotogrametri dilakukan dengan melakukan pengambilan gambar di sekitar/sekeliling objek yang akan dipotret dengan posisi kamera yang konvergen (Atkinson 1996). Terdapat empat langkah utama pada proses fotogrametri, yaitu (1) pemasangan titik kontrol sebagai koordinat referensi, (2) perencanaan dan pelaksanaan pemotretan, (3) pemrosesan foto, (4) pendefinisian titik koordinat menggunakan foto. Sebelum dilakukan pengambilan gambar, perlu pemasangan premark. Premark ini menyebar pada permukaan objek yang akan dipotret sehingga dapat terlihat di foto yang satu dan lainnya. Titik-titik ini akan dipakai untuk proses referencing. Titik premark diukur koordinatnya dengan menggunakan TS yang akan digunakan sebagai titik kontrol dan sebagai data koordinat pembanding dari koordinat hasil pengolahan foto.



Gambar 2. 1. *Principle of Photogrammetric Measurement*
(sumber Luhmann dkk. 2006).

2.2 Segmentasi Pasar Gadget

2.2.1. Entry-Level

Segmen *entry-level*, *low-end*, atau biasa disebut juga dengan kelas bawah merupakan segmentasi pasar yang dibidik untuk Anda yang memiliki bujet sangat terbatas.

Beberapa produsen *smartphone* menyiapkan produk *entry-level* untuk para pengguna pemula yang ingin hijrah dari *feature phone* (ponsel yang hanya digunakan untuk SMS dan telepon) ke *smartphone*. Dengan kata lain, bisa dibilang produk *entry-level* juga dirancang untuk para pengguna awam. Produk *entry-level* saat ini rata-rata sudah menggunakan prosesor *dual-core* atau *quad-core* dengan RAM 512 MB – 1 GB. Hanya saja, memori internalnya biasanya cukup kecil, yakni 8 GB sampai 16 GB dengan layar kurang dari 5 inci.

Dengan spesifikasi yang ditawarkan, *smartphone* atau tablet yang masuk ke dalam kategori *entry-level* lebih cocok digunakan untuk Anda yang hanya sekadar chatting, *browsing*, SMS, telepon, membuka media sosial, mendengarkan musik, dan menonton video dengan ukuran file yang ringan. *Game 2D* pada *gadget entry-level*. Hanya saja, biasanya *gadget entry-level* kurang cocok untuk Anda yang gemar berfoto. Pasalnya, biasanya *gadget entry-level* tidak memiliki kamera yang dapat menghasilkan gambar yang cukup baik. Hal ini dilakukan untuk menekan harga

jual dari produk tersebut. Beberapa contoh *Handphone low-end* (Maulana 2015):

- HTC Desire 310
- Xperia E1
- Xiami Redmi 4x
- Zenfone live
- Meizu M3

2.2.2. Mainstream

Middle-level, kelas menengah, atau yang biasa disebut dengan mainstream adalah segmen pasar untuk Anda yang cukup paham tentang gadget dan memiliki kebutuhan lebih tinggi dari para pengguna *entry-level*. *Gadget* yang termasuk dalam kategori *mainstream* biasanya yang paling banyak diburu.

Hampir semua aktivitas dapat dilakukan pada gadget mainstream. Berbekal prosesor *quad-core* hingga *octa-core*, RAM berkapasitas 1-3 GB, serta ukuran layar 4,5 - 5,5 inci, aktivitas *chatting*, *browsing*, media sosial, mendengarkan musik, dan menonton video berkualitas HD dapat dijalankan dengan lancar. Kelas mainstream biasanya juga dilengkapi dengan kamera yang cukup mumpuni untuk Anda yang gemar berfoto. Umumnya, kamera utama yang digunakannya sudah memiliki resolusi 8-13 MP dengan fitur *autofocus*. Beberapa produsen gadget juga menyematkan kamera depan yang cukup bagus di kelas mainstream sehingga cocok untuk Anda yang gemar selfie. Beberapa contoh *Handphone low-end* (Maulana 2015):

- Xiami Redi Note 4
- Samsung Galaxy J5 Pro
- Samsung Galaxy J7 Pro
- Vivo V5 Plus
- Asus Zenfone 3 Laser
- Samsung Galaxy A5 (2017)

2.2.3. High-End

High-end atau kelas atas disasar untuk yang memiliki alokasi dana khusus untuk membeli sebuah *gadget*. Produk *high-end* juga cocok untuk Anda yang tidak berencana menggonta-ganti *gadget* atau menjualnya dalam waktu dekat. Hal ini dikarenakan kategori *high-end* memiliki spesifikasi yang tinggi dan material yang baik sehingga masih dapat mengakomodir kebutuhan Anda untuk beberapa tahun mendatang.

Sebagai kelas yang lebih tinggi dari mainstream, biasanya para produsen *gadget* menyematkan berbagai teknologi unggulannya pada lini produk *high-end* buatannya. Untuk *gadget*, saat ini standar kategori produk *high-end* sudah cukup tinggi, yakni menggunakan prosesor *hexa-core* hingga *octa-core* dengan RAM berkapasitas 2-4 GB. Sementara untuk layar, *gadget* yang termasuk dalam kategori *high-end* biasanya menggunakan layar di atas 4,7 inci dengan resolusi *full HD*.

Kamera yang dimiliki lini produk *high-end* rata-rata juga sudah mendekati atau bahkan setara dengan kualitas kamera saku. Oleh karena itu, Anda tidak perlu lagi membawa kamera saku jika sudah memiliki *gadget high-end*. Beberapa contoh *Handphone low-end* (Maulana 2015):

- Samsung S8
- Samsung S8 Edge
- Iphone 7 Plus
- Asus Zenfone Zoom 3
- Oppo F3 Plus
- Xiaomi mi 5

2.3 Pemodelan 3D

Model tiga dimensi (3D) dibentuk dari *point clouds* yang dihasilkan oleh foto stereo secara otomatis, di proses secara komputerisasi. Pembuatan *point clouds* terkadang tidak sesuai, sehingga perlunya pemilihan data *point clouds* yang

sesuai dengan kerapatan yang diinginkan dan keaslian bentuk objek.

2.4 RMSE

2.4.1. Root mean Square Error (RMSE)

Root mean Square Error (RMSE) merupakan ukuran perbedaan antara nilai besaran yang diprediksi dengan nilai yang diamati sebenarnya. RMSE digunakan untuk menyatakan akurasi suatu prediksi besaran dan didefinisikan dengan persamaan berikut (Septifa, 2013) :

$$RMSE\ X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{foto} - X_{ts})^2}{n}}$$

.....(2. 1)

$$RMSE\ Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{foto} - Y_{ts})^2}{n}}$$

.....(2. 2)

$$RMSE\ Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{foto} - Z_{ts})^2}{n}}$$

.....(2. 3)

Keterangan :

$X_{foto}, Y_{foto}, Z_{foto}$ = nilai prediksi ke -i

X_{TS}, Y_{TS}, Z_{TS} = nilai pengamatan ke-i

n = jumlah pengamatan

Kesalahan 3D per titik Menurut Pasumansky (2014), untuk mengetahui kesalahan 3D per titik pada dasarnya adalah jarak dari posisi estimasi dan sebenarnya. Sehingga untuk mengetahui kesalahan 3D per titik menggunakan persamaan seperti berikut :

$$Error = \sqrt{(Xerror)^2 (Yerror)^2 (Zerror)^2}$$

.....(2. 4)

Dimana:

$$X_{error} = X_{estimasi} - X_{cek}$$

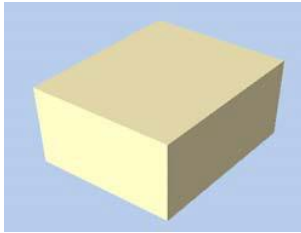
$$Y_{error} = Y_{estimasi} - Y_{cek}$$

$$Z_{error} = Z_{estimasi} - Z_{cek}$$

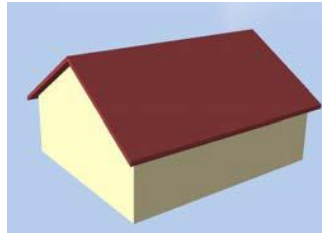
2.5 Level of Detail

Menurut Biljecki (2013), LoD adalah tahapan dalam pembuatan model 3D beserta model situasi yang menunjukkan perkembangan yang didapat selama proses pembuatan model 3D dengan memperhatikan tingkat kedetilan objek yang dimodelkan. Berikut merupakan tingkatan *level of detail*:

1. LoD 1 digunakan untuk aplikasi regional dan *landscape*.
2. LoD 2 biasanya di ketahui sebagai blok blok modal yang terdiri dari bangunan prismatik dengan struktur atap datar, pada *level* ini digunakan untuk perkotaan (kota) dan cakupan wilayah.
3. LoD 3 memiliki perbedaan struktur atap dan tematisnya memiliki permukaan dengan batas yang berbeda, lod2 lebih cocok di gunakan pada distrik kotak dan proyek.
4. Lod4 menyempurnakan (memperbarui (update-an)) model lod3 dengan menambahkan struktur interior untuk bangunan, contoh bangunan lod4 tersusun dari ruangan ruangan, *interior* pintu, tangga, dan *furniture*.



LoD1



LoD2



LoD3



LoD3

Gambar 2. 2 *Level of Detail* (Fan & Meng 2009)

Menurut Fan dan Meng (2009), *Level of Detail* dideskripsikan dengan persyaratan akurasi sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Persyaratan Akurasi LoD (Fan & Meng 2009)

Aspek	LoD1	LoD2	LoD3	LoD4
Skala model	Kota, Regional	Distrik dalam Kota	Model arsitektur (<i>exterior</i>), <i>landmark</i>	Model arsitektur (<i>interior</i>)
Kelas akurasi	Rendah	Menengah	Tinggi	Sangat Tinggi
Akurasi posisi dan tinggi	5 meter	2 meter	0.5 meter	0.2 meter
Instalasi bangunan	-	-	Efek visual <i>exterior</i> representatif	Objek dalam bentuk sebenarnya
Generalisasi	Ukuran objek > 6X6 meter	Ukuran objek > 4X4 Meter	Objek sebagai fitur nyata > 2X2 meter	Elemen konstruktif ditampilkan
Struktur	Datar	Tipe dan orientasi atap	Sesuai bentuk objek sesungguhnya	Sesuai bentuk objek sesungguhnya

2.6 Kalibrasi Kamera

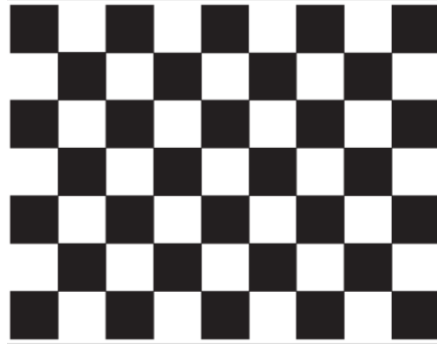
Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter distorsi, meliputi distorsi radial dan distorsi tangensial, serta parameter-parameter lensa lainnya, termasuk juga panjang titik utama (c), serta titik pusat fidusial foto, parameter rotasi (ω , ϕ , κ). Distorsi lensa dapat menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya, sehingga memberikan ketelitian pengukuran yang tidak baik, namun tidak mempengaruhi kualitas ketajaman citra yang dihasilkan.

Kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu (Stensaas 2007 dalam Hanifa 2007) :

1. *Laboratory calibration*
Merupakan kalibrasi yang dilakukan di laboratorium dan terpisah dengan pemotretan objek. Metode ini cocok digunakan untuk kalibrasi kamera metrik. Metode ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu *optical laboratory calibration* dan *test range calibration*.
2. *In field calibration*
Parameter kalibrasi kamera dihitung menggunakan prinsip *bundle adjustment*, *plumb line*, atau *Direct Linear transform* (DLT)
3. *Self calibration*
Kalibrasi pada saat pemotretan dikenal dengan *self calibration*, yakni mengkalibrasi kamera sekaligus pada objek amat dan data diambil bersamaan dengan data observasi. Pada *self calibration* pengukuran titik titik target pada objek pengamatan digunakan sebagai data untuk penentuan titik objek sekaligus untuk menentukan parameter kalibrasi kamera.

Proses kalibrasi kamera menggunakan menu yang sudah ada pada perangkat lunak *Mathlab*. Prinsip hitungan parameter internal kamera secara analitis menggunakan target pada bidang kalibrasi. Dalam penelitian ini menggunakan bidang kalibrasi kolimator berupa papan catur.

Gambar 2. 3 Papan Kolimator



2.7 Distorsi

Distorsi merupakan ketidaksesuaian bentuk objek yang ada di dunia nyata dengan bentuk objek pada foto. Distorsi geometrik pada Foto Udara Format Kecil (FUFK) cenderung lebih kompleks daripada foto udara standar (foto udara metrik), dan secara spesifik dapat dikelompokkan dalam 2 kondisi, yaitu kondisi intrinsik dan kondisi proses.

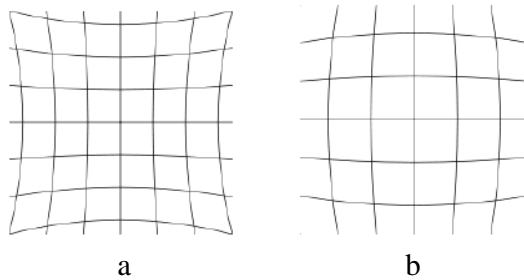
Kondisi proses yang disebabkan oleh operasional penggunaan pesawat ringan untuk pemotretan. Jenis pesawat ini sangat dipengaruhi oleh kondisi angin dan ketidaksinkronan antara saat pemotretan dan kecepatan pesawat yang menyebabkan posisi (X , Y , Z) dan orientasi (ω , ϕ , κ) kamera pada saat pemotretan yang dapat sangat bervariasi antar foto. Kondisi proses pemotretan ini dapat menyebabkan: variasi skala yang beragam antar foto, ketidakteraturan pertampalan (*overlap*) foto udara baik ke arah jalur terbang dan antar jalur terbang, dan rasio B/H (*Base/Height Ratio*).

Kondisi intrinsik dapat disebabkan karena lensa yang digunakan memiliki kualitas yang kurang baik sehingga terjadi perubahan arah sinar yang keluar dari lensa dan yang masuk menjadi tidak sejajar. Distorsi pada lensa menyebabkan kesalahan geometrik atau bentuk objek pada foto, namun tidak mengurangi ketajamannya dari hasil pemotretan kamera.

Kesalahan tersebut mengakibatkan adanya penyimpangan geometri pada foto dengan geometri objek sebenarnya. Distorsi lensa dibedakan menjadi dua yaitu distorsi radial dan tangensial (Wolf 1993 dalam Wijayanto 2016).

1. Distorsi radial (Δr)

Distorsi radial merupakan pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi idealnya. Distorsi radial ke arah dalam disebut sebagai *pinchusion distortion*, dan distorsi radial ke arah luar disebut *barrel distortion*. Perbedaan keduanya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. 4 (a) *pinchusion distortion*, (b) *barrel distortion*

Distorsi radial dideskripsikan sebagai polinom dari jarak radial terhadap titik utama foto.

$$\delta x = (x - x_p)(K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7) \dots\dots\dots (2. 5)$$

$$\delta y = (y - y_p)(K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7) \dots\dots\dots (2. 6)$$

dengan

$$r^2 = (x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 \dots\dots\dots (2. 7)$$

dimana :

$\delta x \delta y$	= besar distorsi radial (μm)
$K1, K2, K3$	= parameter distorsi radial
r	= Jarak radial titik citra terhadap titik utama foto (mm)
$x_p y_p$	= titik pusat foto (mm)
$x y$	= koordinat di foto (mm)

2. Distorsi Tangensial

Distorsi tangensial merupakan pergeseran linier titik di foto pada arah normal (tegak lurus) garis radial melalui titik foto tersebut. Distorsi tangensial disebabkan titik pusat elemen-elemen lensa tidak terletak dalam satu garis lurus. Pergeseran ini biasa dideskripsikan dengan persamaan kuadratik untuk pergeseran pada arah x dan y .

$$\delta x = [P1[r^2 + 2(x - x_p)^2] + 2P2(x - x_p)(y - y_p)](1 + P3r^2) \dots\dots\dots(2. 8)$$

$$\delta y = 2P1(x - x_p)(y - y_p) + 2P2(r^2 + 2(y - y_p)^2)](1 + P3r^2) \dots\dots\dots(2. 9)$$

Dengan

$$r^2 = (x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 \dots\dots\dots(2. 10)$$

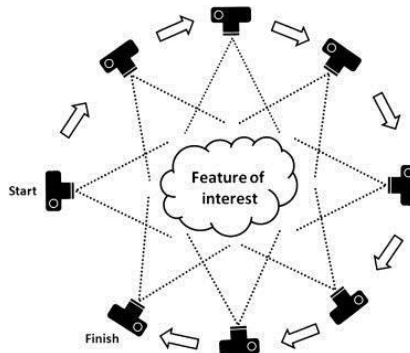
dimana :

δx	= besar pergeseran sumbu x (μm)
δy	= besar pergeseran sumbu y (μm)
$P1, P2, P3$	= parameter distorsi tangensial
r	= Jarak radial titik citra terhadap titik utama foto (mm)
$x_p y_p$	= titik pusat foto (mm)
$x y$	= koordinat di foto (mm)

2.8 Structure from Motion

Menurut Snavely (2008) menyatakan *structure from motion* (SfM) beroperasi dengan prinsip dasar yang sama

dengan fotogrametri stereoskopik, yaitu struktur 3-D dapat dipecahkan dari serangkaian gambar offset yang saling tumpang tindih. Namun, hal itu berbeda secara mendasar dari fotogrametri konvensional, karena geometri tempat kejadian, posisi dan orientasi kamera dipecahkan secara otomatis tanpa perlu menentukan sebuah priori, jaringan target yang telah mengetahui posisi 3-D. Sebagai gantinya, ini dipecahkan bersamaan dengan menggunakan prosedur penyesuaian bundling berulang yang sangat berlebihan prosedur, berdasarkan basis data fitur yang secara otomatis diekstraksi dari sekumpulan beberapa gambar yang saling tumpang tindih.



Gambar 2. 5 *Structure from Motion*

2.9 Spesifikasi Kamera

2.9.1 Spesifikasi iPhone 7 Plus

Tabel 2. 2 Spesifikasi iPhone 7 Plus

Bentang layar	5,5 inci
Resolusi layar	1.920 x 1080 piksel
Fitur Layar	Panel IPS; Retina Color HD, wide color gamut dan 3D touch; Anti-air dan debu

Lanjutan Tabel 2.2

Sistem Operasi	iOS 10
Prosesor	A10 Fusion Chip, 64 bit; M10 Motion Co-processor
Kamera Utama	Dua lensa 12 megapiksel (<i>wide f/1.8 dan telephoto f/2.8</i>); <i>Optical Image Stabilization; Quad Tone LED Flash; Shapphire Crystal Lens Cover; Backside illumination sensor</i>
Kamera FaceTime	7 megapiksel (f/2.2); <i>Retina Flash; Backside illumination sensor</i> ; pendeteksi tubuh dan wajah
Sensor	<i>Three-Axis Gyro; Accelerometer; Proximity; Ambient Light; Barometer</i>

Sumber : www.apple.com

2.9.2 Spesifikasi Samsung A5 (2017)

Tabel 2. 3 Spesifikasi Samsung A5 2017

<u>Size</u>	5.2 inches
Resolusi	1080 x 1920 pixels
Kamera Belakang	16 MP, f/1.9, 27mm, autofocus, LED flash, CMOS
Prosesor	Octa-Core 1.9GHz

Sumber : www.samsung.com

2.9.3 Spesifikasi Xiaomi

Tabel 2. 4 Spesifikasi Redmi Note 3 Pro

Prosesor	<i>Qualcomm Snapdragon 435 Octa-core 1.4 GHz Cortex-A53</i>
Ram	3 GB
Layar	IPS LCD berukuran 5 inci (720 x 1.280 piksel ~294 ppi)
Kamera	13 MP & 5 MP
Sistem Operasi	<i>Android 6.0.1 Marshmallow, MIUI 8</i>
<i>Sensor</i>	<i>Fingerprint, accelerometer, gyro, proximity, compass</i>

Sumber : <http://www.mi.com>

2.10 Kamera

Secara umum pada teknik fotogrametri terdapat dua jenis kamera, yaitu kamera metrik dan kamera non-metrik. Foto yang dihasilkan dari kamera metrik memiliki ketelitian yang tinggi, karena kamera yang digunakan dibuat khusus untuk kebutuhan pemetaan dan memiliki resolusi citra yang baik. Kamera non-metrik adalah kamera yang umum digunakan baik oleh amatir maupun fotografer profesional, dimana kualitas gambar lebih diutamakan dibandingkan dengan ketelitian geometris. Kamera non-metrik dapat dilakukan

kalibrasi dan dapat digunakan dengan hasil yang memuaskan untuk aplikasi foto terestris (Wolf, 1993).

Seiring berkembangnya teknologi, kamera non-metrik yang digunakan tidak lagi kamera dengan sistem analog, melainkan digital. Penggunaan kamera digital erat kaitannya dalam perkembangan era digital dan keekonomisannya untuk aplikasi fotogrametri jarak dekat. Kamera digital memiliki komponen utama yang terdiri atas lensa, sensor, dan media penyimpanan. Kamera ini memiliki karakteristik desain yang berbeda dengan kamera analog. Perbedaan utamanya ialah pada media film seluloid yang diganti oleh sensor optik elektrik seperti *Charge-Couple Device (CCD)* atau *Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)* (Maharani, 2015).

Charge-Couple Device (CCD) berfungsi mengubah *photon* yang jatuh mengenai permukaan sensor menjadi elektron, yang selanjutnya elektron ini diakumulasikan ke dalam kapasitor dan diubah menjadi bentuk sinyal elektronik. *Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)* adalah sensor yang menggunakan teknologi khusus dengan kualitas dan kepekaan cahaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan sensor *CCD*. Keuntungan dari *CMOS* dibandingkan *CCD* adalah memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap cahaya, kualitas gambar yang lebih baik dan *noise* yang rendah. Konsekuensi yang ditimbulkan ialah media penyimpanannya memerlukan kapasitas yang lebih besar (Suharsana, 1997).

Dalam fotogrametri kamera merupakan salah satu instrumen paling penting, karena kamera digunakan untuk membuat foto yang merupakan alat utama dalam fotogrametri. Oleh karena itu dapat dikatakan pula bahwa foto yang akurat (mempunyai kualitas geometri yang tinggi) diperoleh dari kamera yang teliti. Baik untuk keperluan foto udara maupun foto terestrial, kamera diklasifikasikan menjadi dua kategori umum yaitu:

2.9.1. Sensor Kamera

Ada 2 jenis sensor pada kamera dengan berbasis *CCD* (*Charge Coupled Device*) atau *CMOS* (*Complementary Metal Oxide Semi-conductor*). Perbedaan antara *CCD* dan *CMOS* adalah pada bahan yang digunakan dan transportasi informasi elektro-magnetik. *CMOS* memiliki konsumsi daya yang lebih kecil, high dynamic range (frekuensi gambar yang tinggi), kisaran dinamis tinggi dan noise yang lebih rendah. Unsur-unsur sensor kamera meliputi, (Aulejtner, 2011).

2.11 Marker

Marking adalah proses penandaan pada foto-foto yang bertampalan untuk dijadikan acuan dalam membuat model 3 dimensi. Penandaan proses marking ini menggunakan titik-titik objek natural yang terlihat pada foto. Penentuan titik marking diatur sedemikian rupa agar titik tersebut dapat terlihat pada 3 buah foto atau lebih. Hal ini mempermudah dalam memnentukan titik ICP yang tersebar pada Objek.



Gambar 2. 6 Marker Untuk Penanda ICP

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang mendasari penulis dalam pemilihan judul dan topik pembahasan diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Bakula (2014) dengan judul *Capabilities of a smartphone for georeferenced 3D model creation: an evaluation*. Penelitian tersebut berfokus pada kemampuan *smartphone* untuk pemodelan 3D tergeoreferensi. penelitian ini juga untuk menguji sensor pada *smartphone*. Penentuan akurasi sensor, stabilitas dan kemungkinan potensi menghapus kesalahan sistematis sangat penting untuk menilai kemampuan *smartphone* seperti penghapusan distorsi gambar yang disebabkan oleh kesalahan sistematis lensa. Hasil penelitian pemodelan 3D menggunakan *smartphone* dapat dievaluasi dengan meningkatkan resolusi CCD lebih detail dari gambar yang akan diambil.

Penelitian kedua, *Photogrammetric Potential of Digital Cameras in Handheld Gadgets for Digital Close Range Applications*. Pada penelitian ini Agapio(2006) menganalisis kemampuan stabilitas geometri dan akurasi untuk tujuan fotogrametri dengan metode photo grametri jarak dekat. Perangkat yang digunakan ialah 3 jenis *smartphone*, Nokia 5140, Sony Ericsson K700i, dan iPad 3700 PDA. Dari hasil uji lapangan terbukti bahwa tiga *gadget* tersebut memiliki akurasi yang rendah, namun masih dapat digunakan aplikasi fotogrametri sederhana.

Penelitian ketiga yang dilakukan oleh Katoch (2013) *Close Range Photogrammetric Applications for 3-D realistic reconstruction of objects using still images*. Penelitian tersebut membandingkan hasil dari pemodelan 3D dengan beberapa software pemodelan 3D dengan menggunakan foto yang sama sebagai data utama. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa *software open source* lebih akurat dibanding *software professional*.

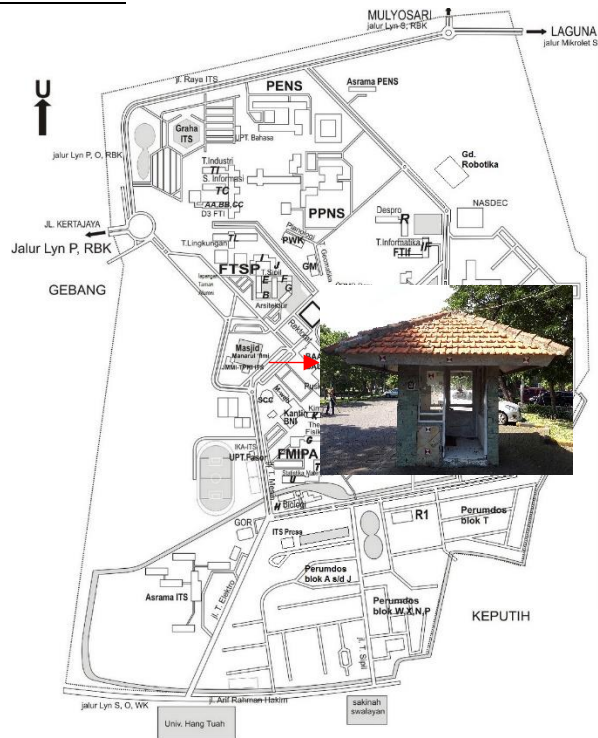
Dari ketiga penelitian tersebut, penulis mengusulkan judul “Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat Untuk Pemodelan 3

Dimensi". Penulis ini membandikna hasil ketelitian dan tekstur dari setiap pemodelan 3D yang dihasilkan dari setiap foto yang diambil dengan menggunakan tiga jenis kamera handphone berbeda yang dibagi sesuai dengan segmen pasar yang ada.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian Tugas Akhir ini dengan objek Pos Jaga berlokasi diantara gedung Masjid Manarul Ilmi ITS dan Parkiran BBAK ITS, kampus ITS Sukolilo Surabaya.

3.2 Peralatan dan Data

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hardware

- Kamera *smartphone*: Samsung A5, iPhone 7 Plus. Dan Xiomi Redmi 4x.
- Laptop MSI GP 62 6QE
- Marker.
- *Total Station*

2. Software

- MS Office.
- *Software* pengolahan foto.
- *Software* pengolahan data.

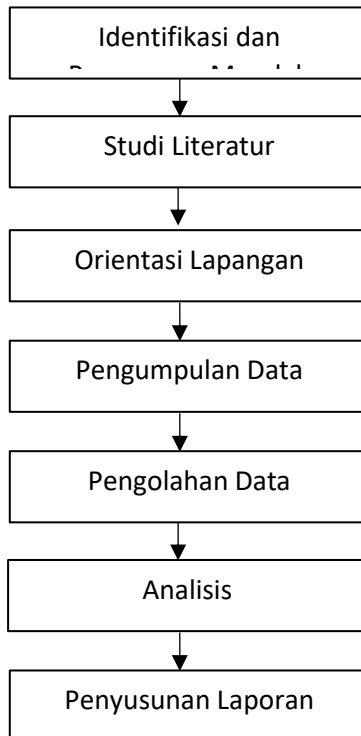
3.2.2 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Foto dalam berbagai sisi diambil menggunakan kamera *smartphone*.
2. Pengukuran Pos jaga.

3.3 Metodologi

3.3.1 Tahap Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

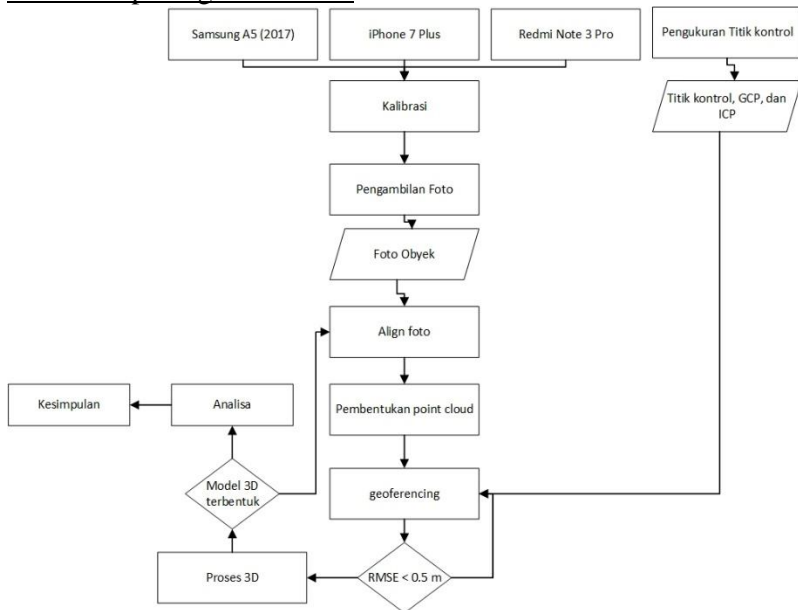
Pada tahap persiapan ada beberapa hal yang perlu dilakukan yaitu :

1. Identifikasi dan Perumusan Masalah
Mengidentifikasi permasalahan dalam pembuatan model 3D untuk pos jaga dengan tiga jenis tipe kamera yang berbeda.
2. Studi literature

Melakukan studi literatur terhadap objek, peralatan, metode, dan software yang digunakan pada penelitian terdahulu.

3. Orientasi lapangan
Orientasi lapangan dilakukan untuk menentukan posisi pengambilan foto, letak *Marking*, serta kebutuhan lainnya.
4. Pengumpulan Data
Pengumpulan data meliputi pengambilan foto dengan kamera Iphone 7 Plus, Samsung A5 (2017), dan Redmi Note 3 Pro.
5. Pengolahan Data
Pengolahan data menggunakan software pengolahan foto dengan metode fotogrametri jarak dekat teknik *structure from motion*.
6. Analisis data
Analisis data yang dilakukan dengan membandingkan hasil detail bangunan 3D yang dilakukan dengan menggunakan kamera *smartphone* , Iphone 7 Plus, Samsung A5 (2017), dan Redmi Note 3 Pro dan titik geometri pada setiap ICP yang tersebar.

3.3.2 Tahap Pengolahan Data



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kalibrasi kamera
kalibrasi kamera menggunakan menu yang sudah ada pada perangkat lunak *Matlab* pada bidang kalibrasi.
2. Pemotretan Objek
Pemotretan dilakukan dengan menggunakan kamera *smartphone* Samsung A5 (2017), iPhone 7 Plus, dan Redmi Note 3 Pro. Pemotretan dilakukan sesuai dengan perencanaan untuk menghasilkan beberapa foto yang akan diseleksi.
3. Pengukuran Objek

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *electronic total station*. Data pengukuran titik kontrol, GCP, dan ICP

4. *Align Photo*

Meluruskan foto satu dengan yang lain berdasarkan posisi kamera.

5. *Point Cloud*

Membentuk objek berupa titik titik dalam sistem koordinat tiga dimensi, titik-titik ini biasanya ditentukan oleh X, Y, dan Z koordinat, dan sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan eksternal dari suatu objek.

6. Proses 3D

Setelah proses *georeferencing* sesuai dan toleransi pengukuran masuk dilanjutkan dengan pembuatan *dense cloud* dan *build texture*..

7. Analisa Pengukuran

Membandingkan hasil ukuran objek sebenarnya pada objek dengan hasil ukuran pada model and membandingkan ICP pada ketiga model 3D.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Foto Objek

Berikut adalah foto objek dilapangan dengan menggunakan smartphone berbeda:

Samsung A5 (2017)



spesifikasi

Size: 4608x3456

Shot: 1/400 sec. f/1,9 3,6 mm

ISO: 40

Jumlah foto: 120 foto

Format: JPEG, 6.6 MB

iPhone 7 Plus



Size: 4032x3024

Shot: 1/500 sec. f/1,8 3,99 mm

ISO: 20

Jumlah foto: 120 foto

Format: JPEG 4.5 MB

Redmi Note 3 Pro



Size: 4608x3456

Shot: 1/500 sec. f/2 3,57 mm

ISO: 150

Jumlah foto: 120 foto

Format: JPEG 3 MB

Gambar 4. 1 Sampel Foto

Pada gambar (4.1) Proses pengambilan foto terdapat beberapa bagian yang terlihat terang, hal ini juga mempengaruhi dalam proses pembuatan model 3D dimana nanti akan terdapat bagian sisi bangunan yang mengalami perbedaan kecerahan, warna, dan kontras pada setiap model yang dihasilkan.

4.1.2 Kalibrasi Kamera

Berikut adalah Parameter Orientasi Dalam Kamera:

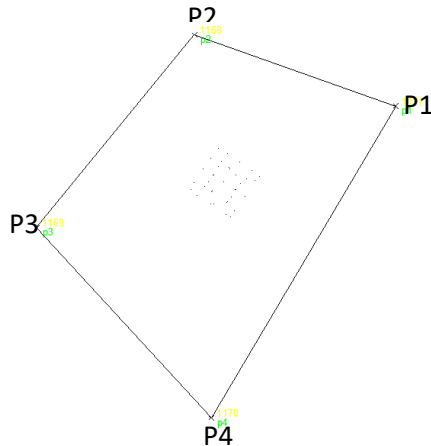
Tabel 4. 1 Nilai Kalibrasi Kamera *Smartphone*

Parameter	Samsung	iPhone	Redmi note 3 pro
F(mm)	3.600	3.570	3.990
Fx(mm)	3674.670	3576.890	3293.960
Fy(mm)	6376.210	3576.890	3304.890
k1	0.186	0.112	0.244
k2	-0.797	-0.029	-1.617
k3	1.395	-0.721	4.573
P1	0.000	0.000	-0.001
P2	0.000	0.000	0.000

Dari table diatas didapatkan perbedaan pada *focal length* atau jarak *focus* (f) yang mempengaruhi dalam pengambilan gambar atau seberapa luas area yang yang dapat diambil dalam satu frame dan mempengaruhi jarak pengambilan gambar antara objek dengan posisi kamera. Semakin kecil *focal length* semakin besar sudut pengambilan gambar.

4.1.3 Titik Kontrol

Titik kontrol yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 4 buah, Metode yang digunakan adalah poligon tertutup. Menggunakan sistem koordinat lokal dengan koordinat awal 1000;1000;0. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan total station.



Gambar 4. 2 Sketsa *Polygon*

Tabel 4. 2 Koordinat Titik Kontrol

Titik	X (meter)	Y(meter)
P2	1000	1000
P3	994.361	984.031
P4	1009.942	975.851
P1	1014.642	1000.001

Pengukuran poligon menggunakan *Electronic Total Station* yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan

koordinat lokal dengan koordinat di titik awal X,Y,Z yaitu 1000; 1000; 0. Hasil perhitungan kerangka kontrol memiliki kesalahan penutup sudut 3" dimana total station memiliki bacaan terkecil 1" dengan toleransi $1''\sqrt{n} = 1''\sqrt{4} = 2''$ sehingga pengukuran penutup sudut tidak masuk toleransi.

Untuk kesalahan linier, toleransi yang diperbolehkan sebesar $1/2500$ (atau 0.0004). pada penelitian ini memiliki kesalahan linier sebesar 0.0000420 atau $1/23811.568$.

4.1.4 GCP dan ICP

Berikut adalah hasil koordinat GCP dan ICP:

a. GCP

Tabel 4. 3 Titik GCP

No	Nama titik	Pengukuran Lapangan		
		x (meter)	y (meter)	z (meter)
1	Point 1	1007.388	992.390	2.073
2	Point 5	1004.114	993.289	2.078
3	Point 8	1006.590	991.963	0.124
4	Point 12	1004.612	992.488	0.101
5	Point 16	1003.273	990.009	2.056
6	Point 22	1004.093	990.528	0.123
7	Point 26	1006.524	989.213	1.969

b. ICP

Pengukuran ICP didapatkan dengan pengukuran dari titik kontrol dengan pengukuran detail.

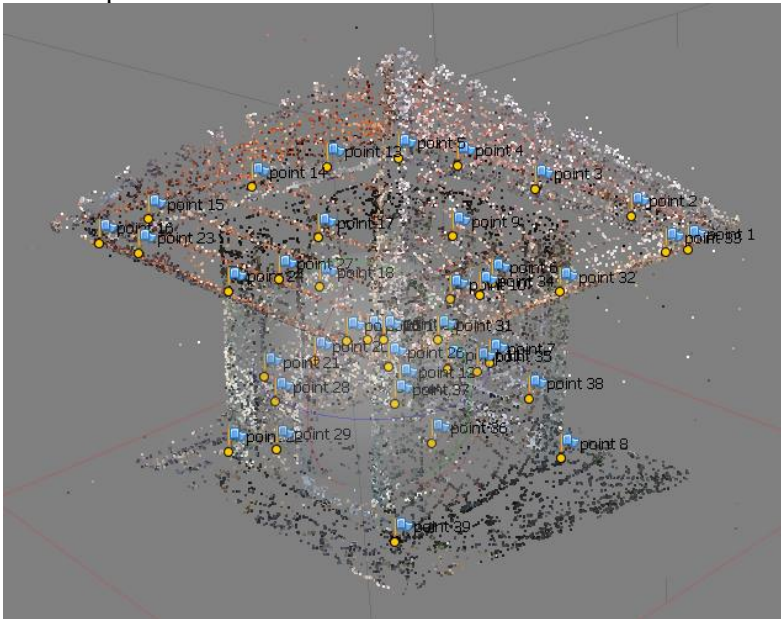
Tabel 4.4 Titik ICP

Nama titik	Pengukuran Lapangan		
	x (meter)	y (meter)	z (meter)
2	1006.784	992.614	2.176
3	1005.771	992.875	2.166
4	1004.840	993.138	2.163
6	1005.853	991.955	1.613
7	1005.849	991.964	0.858
9	1005.313	992.231	1.836
10	1005.307	992.235	1.246
11	1005.247	992.303	0.519
13	1003.847	992.457	2.164
14	1003.628	991.601	2.167
15	1003.360	990.520	2.135
17	1004.421	991.474	1.888
18	1004.421	991.470	1.430
19	1004.524	992.088	0.724
20	1004.364	991.460	0.713
21	1004.218	990.908	0.740
23	1003.864	989.805	2.064
24	1004.938	989.552	2.061
25	1006.159	989.261	2.059
27	1004.764	990.412	1.835
28	1004.714	990.376	0.761
29	1004.713	990.376	0.321
31	1006.675	989.593	2.145

Lanjutan Tabel 4.4

Nama titik	Pengukuran Lapangan		
	x (meter)	y (meter)	z (meter)
32	1007.007	990.804	2.158
33	1007.328	992.027	2.138
34	1006.247	990.987	1.900
35	1006.248	990.989	1.253
36	1006.161	990.437	0.836
38	1006.443	991.534	0.841

Dari titik – titik GCP di atas digunakan untuk proses *georeference*, sementara ICP digunakan sebagai nilai pembanding untuk ketelitian model 3D. Berikut adalah lokasi penanda *marker* GCP dan ICP pada model 3D :

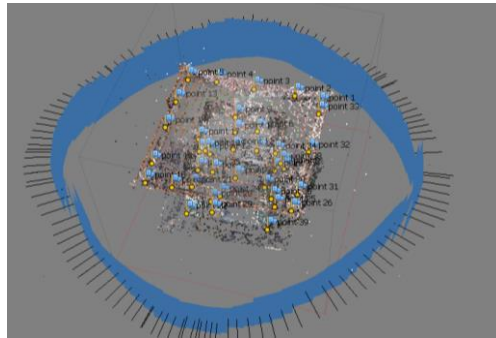


Gambar 4. 3 Persebaran Titik GCP dan ICP Pada Model 3D

4.1.5 Model 3D Kamera Samsung A5 (2017)

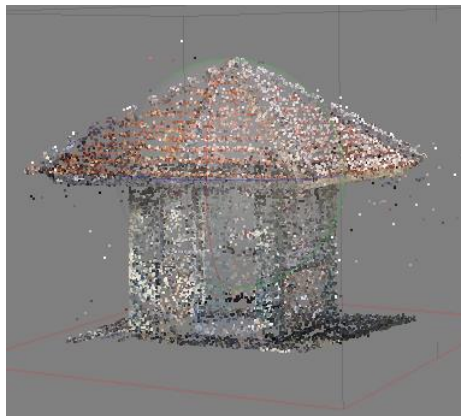
Berikut adalah hasil model 3D objek Pos jaga dengan Pendekatan SFM.

1. Proses *alignment* foto untuk mengetahui letak posisi kamera.



Gambar 4. 4 Posisi Kamera Samsung

2. Proses terbentuknya *point cloud* menghasilkan 36.654 point



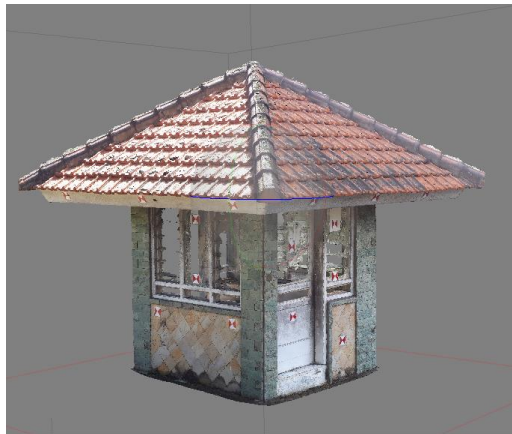
Gambar 4. 5 Hasil *Point Cloud*

3. Tahap pembentukan *dense cloud* dengan *level high* menghasilkan 12,633,566 point.



Gambar 4. 6 Hasil *Dense Cloud*

4. Tahap selanjutnya merupakan *texturing* terbentuk dari mozaik foto

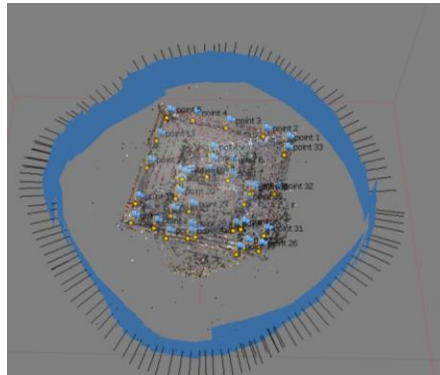


Gambar 4. 7 Hasil *Texture*

4.1.6 Model 3D Kamera iPhone 7 plus

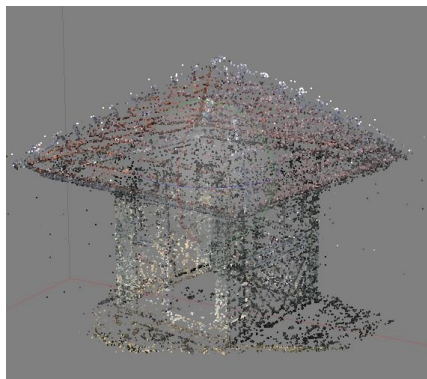
Berikut adalah hasil model 3D objek Pos jaga dengan Pendekatan SFM.

1. Proses *alignment* foto untuk mengetahui letak posisi kamera.



Gambar 4. 8 Posisi Kamera iPhone

2. Proses terbentuknya *point cloud* menghasilkan 43.059 point



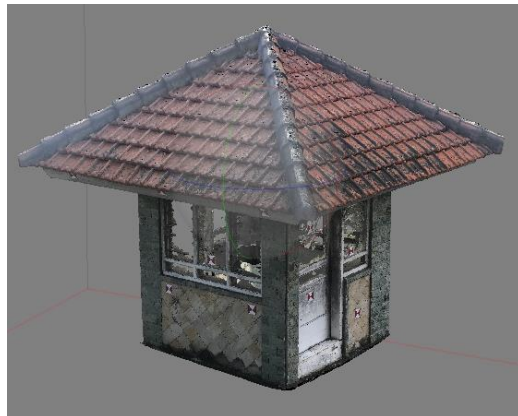
Gambar 4. 9 Hasil *Point Cloud*

3. Tahap pembentukan *dense cloud* dengan *level high* menghasilkan 9,222,274 point.



Gambar 4. 10 Hasil *Dense Cloud*

4. Tahap selanjutnya merupakan *texturing* terbentuk dari mozaik foto

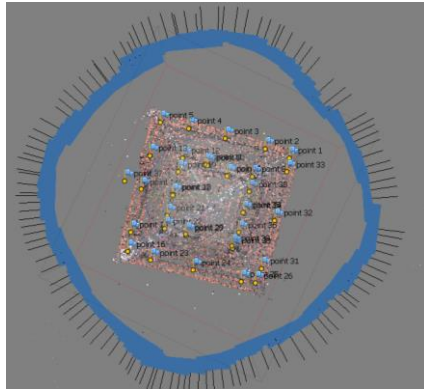


Gambar 4. 11 Hasil *Texture*

4.1.7 Model 3D kamera Redmi Note 3 Pro

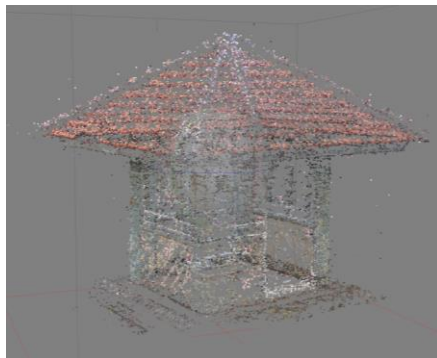
Berikut adalah hasil model 3D objek Pos jaga dengan Pendekatan SFM.

1. Proses *alignment* foto untuk mengetahui letak posisi kamera.



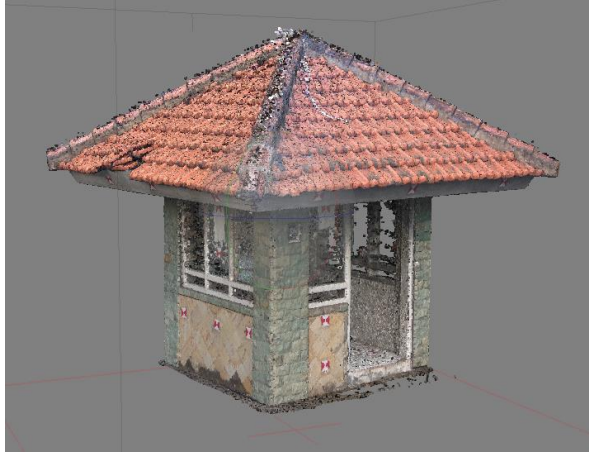
Gambar 4. 12 Posisi Kamera Redmi Note 3 Pro

2. Proses terbentuknya *point cloud* menghasilkan 52.989 *point*



Gambar 4. 13 Hasil *Point Cloud*

3. Tahap pembentukan *dense cloud* dengan level high menghasilkan 11,345,019 *point*.



Gambar 4. 14 Hasil *Dense Cloud*

4. Tahap selanjutnya merupakan *texturing* terbentuk dari mozaik foto



Gambar 4. 15 Hasil *Texture*

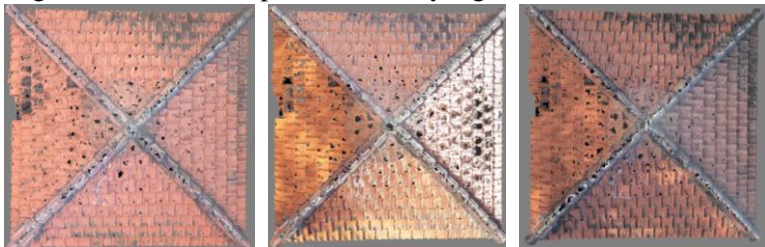
4.2 Analisis

4.2.1 Model 3D

a. Bentuk

Model 3D Pos Jaga yang terbentuk dari 120 buah foto didapat dari setiap kamera yaitu, Samsung A5 (2017), iPhone 7 Plus, dan Redmi Note 5 Pro. Proses pengambilan foto dilakukan pada 28 Mei 2018 jam 16.00 WIB untuk kamera Samsung A5 (2017) dan iPhone 7 Plus sedangkan untuk Redmi Note 3 Pro dilakukan pada 30 Mei 2018 jam 16.00. terdapat beberapa bagian yang gelap dikarenakan ada bagian objek yang membelakangi matahari.

Selain perbedaan kecerahan dalam pemodelan terdapat juga pembentukan model yang masih kurang pada bagian atap pada setiap model yang dihasilkan dari tiga jenis kamera. Hal tersebut dikarenakan tidak tercover pada bagian atap. karena pada saat pengambilan foto dan posisi kamera yang tidak konstan.



a

b

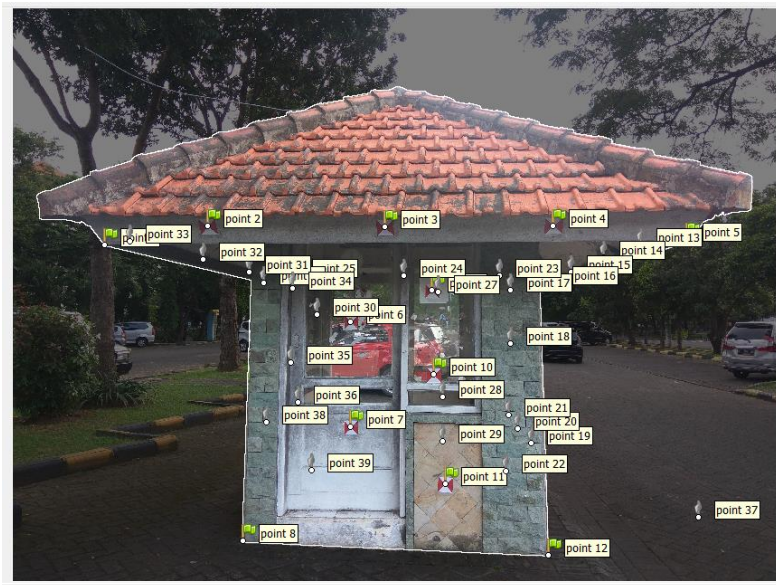
c

Gambar 4. 16 Model Bagian Atap Objek

Ket: a = hasil model menggunakan kamera Redmi Note 3 Pro ; b= hasil model menggunakan kamera Samsung A5 (2017); c = hasil model menggunakan kamera iPhone 7 Plus. Pada (gambar4.18) terlihat juga perbedaan kontras warna disetiap model.

b. Pemberian Marker

Pemberian marker ini berguna sebagai penanda dari titik yang sama antar foto. Penulis mengambil titik dari setiap foto yang terlihat jelas agar dapat bertampalan dengan foto lain. Jumlah *mark* (tanda) ini juga berguna sebagai penanda GCP dan ICP untuk keperluan analisis ketelitian geometrik. Pemberian tanda untuk GCP berjumlah 7 buah titik dan untuk ICP berjumlah 29 buah titik yang tersebar.



Gambar 4. 17 Pemberian Marker Untuk ICP dan GCP

c. *Masking*

Masking sebagai salah satu cara untuk filtering model. Hal-hal yang difilter yaitu diluar objek yang akan dibentuk model 3D, salahsatunya yaitu ranting pohon, kendaraan bermotor, dan dapat berupa orang yang sedang berjalan disekitar objek.



Gambar 4. 18 Proses *Masking*

Pada proses masking juga berguna untuk proses *feature detecting* dan *feature matching* lebih fokus pada objek sehingga tidak memerlukan waktu lebih banyak.

4.2.3 Analisis Ketelitian Geometri

Analisis dilakukan pada 29 titik ICP yang tersebar pada model 3D dengan pengukuran lapangan.

Tabel 4. 5 Koordinat ICP dari pengukuran ETS

Nama titik	Pengukuran Lapangan		
	x (meter)	y (meter)	z (meter)
2	1006.784	992.614	2.176
3	1005.771	992.875	2.166
4	1004.840	993.138	2.163
6	1005.853	991.955	1.613

Lanjutan Tabel 4. 6

Nama titik	Pengukuran Lapangan		
	x (meter)	y (meter)	z (meter)
7	1005.849	991.964	0.858
9	1005.313	992.231	1.836
10	1005.307	992.235	1.246
11	1005.247	992.303	0.519
13	1003.847	992.457	2.164
14	1003.628	991.601	2.167
15	1003.360	990.520	2.135
17	1004.421	991.474	1.888
18	1004.421	991.470	1.430
19	1004.524	992.088	0.724
20	1004.364	991.460	0.713
21	1004.218	990.908	0.740
23	1003.864	989.805	2.064
24	1004.938	989.552	2.061
25	1006.159	989.261	2.059
27	1004.764	990.412	1.835
28	1004.714	990.376	0.761
29	1004.713	990.376	0.321
31	1006.675	989.593	2.145
32	1007.007	990.804	2.158
33	1007.328	992.027	2.138
34	1006.247	990.987	1.900
35	1006.248	990.989	1.253
36	1006.161	990.437	0.836
38	1006.443	991.534	0.841

4.2.3.1 Ketelitian Geometri

a. Geometri pada Samsung A5 (2017)

Analisis dilakukan dengan 29 titik ICP lapangan dengan model 3D seperti berikut:

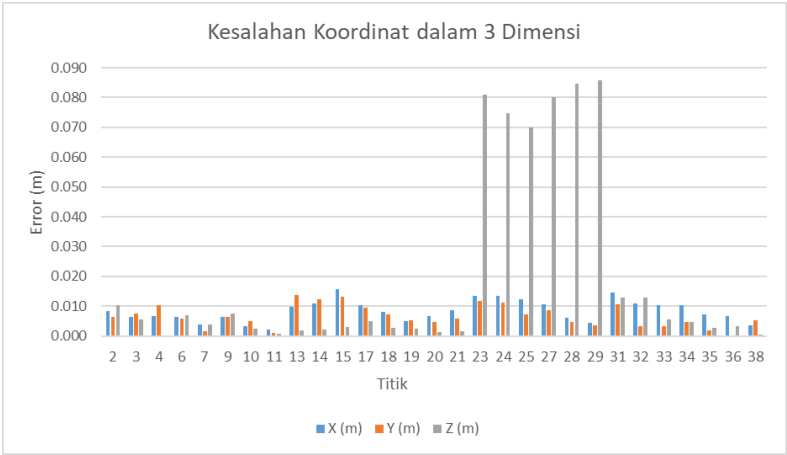
Tabel 4. 6 Kesalahan Koordinat ICP Model dan Lapangan

Nama titik	Error		
	x (meter)	y (meter)	z (meter)
2	0.008	0.006	0.010
3	0.006	0.008	0.006
4	0.007	0.010	0.000
6	0.007	0.006	0.007
7	0.004	0.002	0.004
9	0.006	0.006	0.007
10	0.003	0.005	0.002
11	0.002	0.001	0.001
13	0.010	0.014	0.002
14	0.011	0.012	0.002
15	0.016	0.013	0.003
17	0.010	0.010	0.005
18	0.008	0.007	0.003
19	0.005	0.005	0.002
20	0.007	0.005	0.001
21	0.009	0.006	0.001
23	0.013	0.012	0.081
24	0.013	0.011	0.075
25	0.012	0.007	0.070
27	0.011	0.009	0.080
28	0.006	0.005	0.085
29	0.004	0.003	0.086

Lanjutan Tabel 4.6

Nama titik	Error		
	x (meter)	y (meter)	z (meter)
31	0.015	0.011	0.013
32	0.011	0.003	0.013
33	0.010	0.003	0.006
34	0.010	0.005	0.005
35	0.007	0.002	0.003
36	0.007	0.000	0.003
38	0.004	0.005	0.000
Rata-rata	0.008	0.007	0.020
rmse	0.092	0.081	0.141

Pada model yang dihasilkan oleh kamera Samsung A5(2017) kesalahan ICP pada koordinat X terletak pada point 15 yaitu sebesar 0.016 meter, untuk koordinat Y terletak pada point 13 yaitu sebesar 0.014 meter, pada koordinat Z terletak pada point 29 yaitu sebesar 0.086 meter.



Gambar 4. 19 Grafik kesalahan 3D Samsung A5 (2017)

b. Geometri pada iphone 7 Plus

Analisis dilakukan dengan 29 titik ICP lapangan dengan model 3D seperti berikut

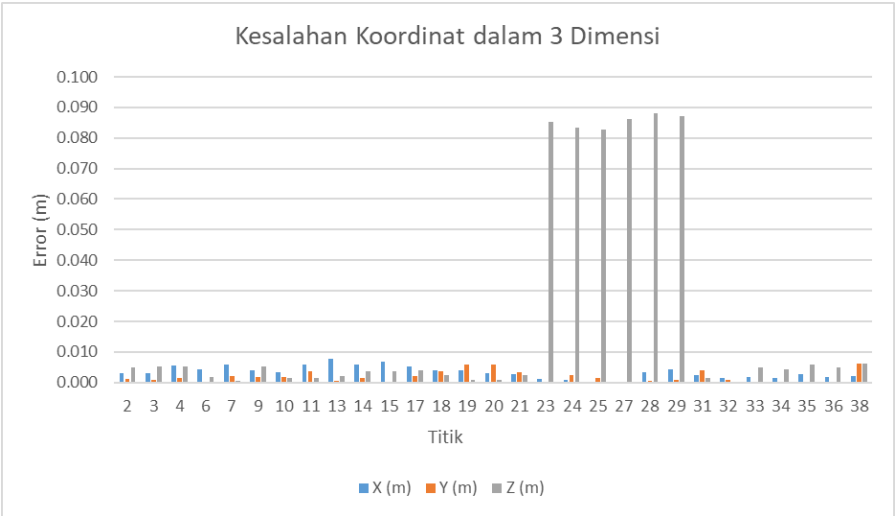
Tabel 4. 7 Kesalahan Koordinat ICP Model dan Lapangan

Nama titik	Error		
	x (meter)	y (meter)	z (meter)
2	0.003	0.001	0.005
3	0.003	0.001	0.005
4	0.006	0.002	0.005
6	0.004	0.000	0.002
7	0.006	0.002	0.000
9	0.004	0.002	0.005
10	0.003	0.002	0.002
11	0.006	0.004	0.001
13	0.008	0.000	0.002
14	0.006	0.001	0.004
15	0.007	0.000	0.004
17	0.005	0.002	0.004
18	0.004	0.004	0.002
19	0.004	0.006	0.001
20	0.003	0.006	0.001
21	0.003	0.003	0.002
23	0.001	0.000	0.085
24	0.001	0.002	0.084
25	0.000	0.001	0.083
27	0.000	0.000	0.086
28	0.003	0.000	0.088
29	0.004	0.001	0.087
31	0.002	0.004	0.001

Lanjutan Tabel 4.7

Nama titik	Error		
32	0.001	0.001	0.000
33	0.002	0.000	0.005
34	0.001	0.000	0.004
35	0.003	0.000	0.006
36	0.002	0.000	0.005
38	0.002	0.006	0.006
Rata-rata	0.003	0.002	0.020
rmse	0.058	0.043	0.142

Pada model yang dihasilkan oleh kamera iPhone 7 Plus kesalahan ICP pada koordinat X terletak pada point 13 yaitu sebesar 0.008 meter, untuk koordinat Y terletak pada point 19 yaitu sebesar 0.006 meter, pada koordinat Z terletak pada point 28 yaitu sebesar 0.088 meter.



Gambar 4. 20 Grafik Kesalahan 3D iPhone 7 Plus

- a. Geometri pada Redmi Note 3 Pro
 Analisis dilakukan dengan 29 titik ICP lapangan dengan model 3D seperti berikut

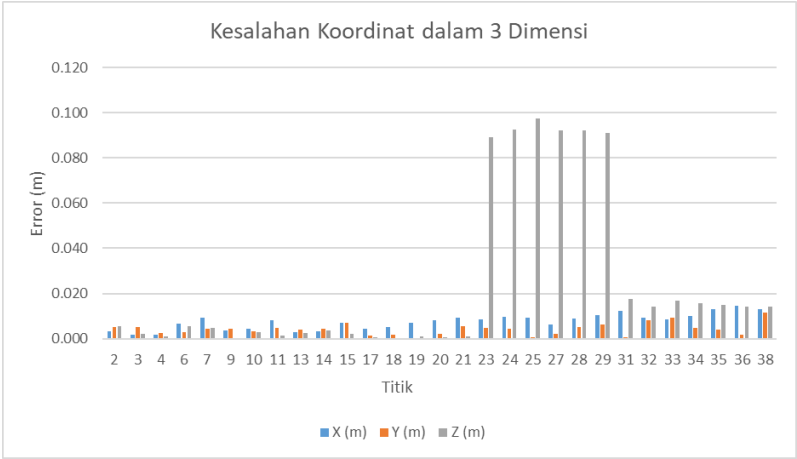
Tabel 4. 8 Kesalahan Koordinat ICP Model dan Lapangan

Nama titik	Error		
	x (meter)	y (meter)	z (meter)
2	0.003	0.005	0.006
3	0.002	0.005	0.002
4	0.002	0.002	0.001
6	0.007	0.003	0.005
7	0.009	0.004	0.005
9	0.004	0.004	0.000
10	0.004	0.003	0.003
11	0.008	0.005	0.002
13	0.003	0.004	0.003
14	0.003	0.004	0.004
15	0.007	0.007	0.002
17	0.004	0.002	0.001
18	0.005	0.002	0.000
19	0.007	0.000	0.001
20	0.008	0.002	0.000
21	0.009	0.006	0.001
23	0.009	0.005	0.089
24	0.010	0.005	0.093
25	0.009	0.001	0.097
27	0.006	0.002	0.092
28	0.009	0.005	0.092
29	0.010	0.006	0.091

Lanjutan Tabel 4.8

Nama titik	Error		
	x (meter)	y (meter)	z (meter)
31	0.012	0.001	0.017
32	0.009	0.008	0.014
33	0.008	0.009	0.017
34	0.010	0.005	0.016
35	0.013	0.004	0.015
36	0.015	0.002	0.014
38	0.013	0.012	0.014
Rata-rata	0.008	0.004	0.024
rmse	0.087	0.065	0.155

Pada model yang dihasilkan oleh kamera Redmi Note 3Pro kesalahan ICP pada koordinat X terletak pada point 36 yaitu sebesar 0.015 meter, untuk koordinat Y terletak pada point 38 yaitu sebesar 0.012 meter, pada koordinat Z terletak pada point 25 yaitu sebesar 0.097 meter.



Gambar 4. 21 Kesalahan 3D Redmi Note 3 Pro

4.2.4 Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan pada nilai koordinat ICP XYZ yang tersebar pada model 3D dengan nilai koordinat dari pengukuran ETS sebagai pembanding. Untuk mengetahui kualitas dari pengukuran dilakukan uji *statistic* dengan uji *t student* berdasarkan nilai pada distribusi *t student* dengan tingkat kepercayaan 90% dimana dengan derajat kebebasan 1, didapatkan nilai $t = 6.314$. berikut ini penjelasan uji statistik pada setiap koordinat.

a. Model 3D Samsung A5 (2017)

Nilai koordinat X pada 3D rata-rata kesalahan sebesar 0.008 meter dengan nilai standar deviasi 0.003 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.092 meter.

Tabel 4. 9 Uji *t student* Pada Koordinat X

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat X (meter)	Keterangan
2	1006.771	1006.797	1006.792	diterima
3	1005.758	1005.784	1005.777	diterima
4	1004.827	1004.853	1004.847	diterima
6	1005.840	1005.866	1005.860	diterima
7	1005.836	1005.862	1005.853	diterima
9	1005.300	1005.326	1005.319	diterima
10	1005.294	1005.320	1005.310	diterima
11	1005.234	1005.260	1005.249	diterima
13	1003.834	1003.860	1003.857	diterima
14	1003.615	1003.641	1003.639	diterima
15	1003.347	1003.373	1003.376	tidak diterima
17	1004.408	1004.434	1004.431	diterima

Lanjutan Tabel 4.9

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat X (meter)	Keterangan
18	1004.408	1004.434	1004.429	diterima
19	1004.511	1004.537	1004.529	diterima
20	1004.351	1004.377	1004.371	diterima
21	1004.205	1004.231	1004.227	diterima
23	1003.851	1003.878	1003.878	tidak diterima
24	1004.925	1004.951	1004.951	tidak diterima
25	1006.146	1006.173	1006.172	diterima
27	1004.750	1004.777	1004.774	diterima
28	1004.701	1004.727	1004.720	diterima
29	1004.699	1004.726	1004.717	diterima
31	1006.662	1006.689	1006.690	tidak diterima
32	1006.993	1007.020	1007.018	diterima
33	1007.315	1007.341	1007.338	diterima
34	1006.234	1006.261	1006.258	diterima
35	1006.235	1006.262	1006.256	diterima
36	1006.148	1006.175	1006.168	diterima
38	1006.429	1006.456	1006.446	diterima

Dari tabel diatas didapat 4 buah titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 25 titik yang diterima atau 86.2% dari keseluruhan koordinat X.

Nilai koordinat Y pada 3D rata-rata kesalahan sebesar 0.006 meter dengan nilai standar deviasi 0.003 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.082 meter

Tabel 4. 10 Uji t *student* Pada Koordinat Y

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat Y (meter)	Keterangan
2	992.601	992.627	992.608	diterima
3	992.862	992.888	992.867	diterima
4	993.125	993.151	993.128	diterima
6	991.942	991.968	991.949	diterima
7	991.951	991.977	991.962	diterima
9	992.218	992.244	992.225	diterima
10	992.222	992.248	992.230	diterima
11	992.290	992.316	992.302	diterima
13	992.444	992.470	992.443	tidak diterima
14	991.588	991.614	991.589	diterima
15	990.507	990.533	990.507	diterima
17	991.461	991.487	991.464	diterima
18	991.457	991.483	991.463	diterima
19	992.075	992.101	992.083	diterima
20	991.447	991.473	991.455	diterima
21	990.895	990.921	990.902	diterima
23	989.792	989.819	989.793	diterima
24	989.539	989.566	989.541	diterima
25	989.247	989.274	989.254	diterima
27	990.398	990.425	990.403	diterima
28	990.363	990.390	990.372	diterima
29	990.362	990.389	990.372	diterima
31	989.580	989.606	989.582	diterima
32	990.791	990.817	990.801	diterima
33	992.014	992.041	992.024	diterima
34	990.974	991.001	990.983	diterima

Lanjutan Tabel 4.10

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas atas (meter)	Koordinat Y (meter)	Keterangan
35	990.976	991.003	990.987	diterima
36	990.423	990.450	990.437	diterima
38	991.521	991.548	991.540	diterima

Dari tabel diatas didapat 1 buah titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 28 titik yang diterima atau 96.5% dari keseluruhan koordinat Y.

Nilai koordinat Z pada 3D rata-rata kesalahn sebesar 0.019 meter dengan nilai standar deviasi 0.031 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.141 meter

Tabel 4. 11 Uji t *student* Pada Koordinat Z

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas atas (meter)	Koordinat Z (meter)	Keterangan
2	2.163	2.189	2.166	diterima
3	2.153	2.179	2.160	diterima
4	2.150	2.177	2.163	diterima
6	1.599	1.626	1.606	diterima
7	0.845	0.871	0.854	diterima
9	1.823	1.850	1.829	diterima
10	1.232	1.259	1.243	diterima
11	0.506	0.532	0.520	diterima
13	2.151	2.178	2.166	diterima
14	2.153	2.180	2.165	diterima
15	2.122	2.149	2.132	diterima
17	1.875	1.902	1.883	diterima

Lanjutan Tabel 4.11

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas atas (meter)	Koordinat Z (meter)	Keterangan
18	1.417	1.444	1.428	diterima
19	0.710	0.737	0.726	diterima
20	0.699	0.726	0.714	diterima
21	0.726	0.753	0.738	diterima
23	2.051	2.078	2.145	tidak diterima
24	2.047	2.074	2.135	tidak diterima
25	2.046	2.072	2.129	tidak diterima
27	1.822	1.848	1.915	tidak diterima
28	0.748	0.774	0.846	tidak diterima
29	0.307	0.334	0.407	tidak diterima
31	2.132	2.159	2.133	diterima
32	2.144	2.171	2.145	diterima
33	2.125	2.152	2.133	diterima
34	1.886	1.913	1.895	diterima
35	1.239	1.266	1.250	diterima
36	0.823	0.850	0.833	diterima
38	0.828	0.855	0.841	diterima

Dari tabel diatas didapat 6 buah titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 23 titik yang diterima atau 79.3% dari keseluruhan koordinat Z.

b. Model 3D iPhone

Nilai koordinat X pada 3D rata-rata kesalahan sebesar 0.003 meter dengan nilai standar deviasi 0.001 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.057 meter.

Tabel 4. 12 Uji *t student* Pada Koordinat X

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat X (meter)	Keterangan
2	1006.771	1006.797	1006.787	diterima
3	1005.758	1005.784	1005.774	diterima
4	1004.827	1004.853	1004.846	diterima
6	1005.840	1005.866	1005.857	diterima
7	1005.836	1005.862	1005.855	diterima
9	1005.300	1005.326	1005.317	diterima
10	1005.294	1005.320	1005.310	diterima
11	1005.234	1005.260	1005.253	diterima
13	1003.834	1003.860	1003.855	diterima
14	1003.615	1003.641	1003.634	diterima
15	1003.347	1003.373	1003.367	diterima
17	1004.408	1004.434	1004.426	diterima
18	1004.408	1004.434	1004.425	diterima
19	1004.511	1004.537	1004.528	diterima
20	1004.351	1004.377	1004.367	diterima
21	1004.205	1004.231	1004.221	diterima
23	1003.851	1003.878	1003.866	diterima
24	1004.925	1004.951	1004.939	diterima
25	1006.146	1006.173	1006.160	diterima
27	1004.750	1004.777	1004.763	diterima
28	1004.701	1004.727	1004.711	diterima
29	1004.699	1004.726	1004.708	diterima
31	1006.662	1006.689	1006.678	diterima
32	1006.993	1007.020	1007.008	diterima
33	1007.315	1007.341	1007.330	diterima
34	1006.234	1006.261	1006.249	diterima

Lanjutan Tabel 4.12

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat X (meter)	Keterangan
35	1006.235	1006.262	1006.251	diterima
36	1006.148	1006.175	1006.163	diterima
38	1006.429	1006.456	1006.445	diterima

Dari tabel diatas didapat 29 buah titik diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 29 titik yang diterima atau 100% dari keseluruhan koordinat Y.

Nilai koordinat Y pada 3D rata-rata kesalahan sebesar 0.001 meter dengan nilai standar deviasi 0.001 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.042 meter

Tabel 4. 13 Uji t *student* Pada Koordinat Y

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat Y (meter)	Keterangan
2	992.601	992.627	992.613	diterima
3	992.862	992.888	992.876	diterima
4	993.125	993.151	993.140	diterima
6	991.942	991.968	991.955	diterima
7	991.951	991.977	991.966	diterima
9	992.218	992.244	992.233	diterima
10	992.222	992.248	992.237	diterima
11	992.290	992.316	992.307	diterima
13	992.444	992.470	992.457	diterima
14	991.588	991.614	991.602	diterima
15	990.507	990.533	990.520	diterima
17	991.461	991.487	991.476	diterima
18	991.457	991.483	991.474	diterima

Lanjutan Tabel 4.13

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat Y (meter)	Keterangan
19	992.075	992.101	992.094	diterima
20	991.447	991.473	991.466	diterima
21	990.895	990.921	990.911	diterima
23	989.792	989.819	989.805	diterima
24	989.539	989.566	989.550	diterima
25	989.247	989.274	989.259	diterima
27	990.398	990.425	990.411	diterima
28	990.363	990.390	990.377	diterima
29	990.362	990.389	990.376	diterima
31	989.580	989.606	989.589	diterima
32	990.791	990.817	990.805	diterima
33	992.014	992.041	992.027	diterima
34	990.974	991.001	990.988	diterima
35	990.976	991.003	990.990	diterima
36	990.423	990.450	990.437	diterima
38	991.521	991.548	991.541	diterima

Dari tabel diatas didapat 29 buah titik diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 29 titik yang diterima atau 100% dari keseluruhan koordinat Y.

Nilai koordinat Z pada 3D rata-rata kesalahan sebesar 0.020 meter dengan nilai standar deviasi 0.003 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.142 meter.

Tabel 4. 14 Uji t *student* Pada Koordinat Z

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat Z (meter)	Keterangan
2	2.163	2.189	2.171	diterima
3	2.153	2.179	2.161	diterima
4	2.150	2.177	2.158	diterima
6	1.599	1.626	1.611	diterima
7	0.845	0.871	0.857	diterima
9	1.823	1.850	1.831	diterima
10	1.232	1.259	1.244	diterima
11	0.506	0.532	0.518	diterima
13	2.151	2.178	2.162	diterima
14	2.153	2.180	2.163	diterima
15	2.122	2.149	2.132	diterima
17	1.875	1.902	1.884	diterima
18	1.417	1.444	1.428	diterima
19	0.710	0.737	0.723	diterima
20	0.699	0.726	0.712	diterima
21	0.726	0.753	0.737	diterima
23	2.051	2.078	2.150	tidak diterima
24	2.047	2.074	2.144	tidak diterima
25	2.046	2.072	2.142	tidak diterima
27	1.822	1.848	1.921	tidak diterima
28	0.748	0.774	0.849	tidak diterima
29	0.307	0.334	0.408	tidak diterima
31	2.132	2.159	2.147	diterima
32	2.144	2.171	2.158	diterima
33	2.125	2.152	2.143	diterima
34	1.886	1.913	1.904	diterima

Lanjutan Tabel 4.14

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat Z (meter)	Keterangan
35	1.239	1.266	1.259	diterima
36	0.823	0.850	0.841	diterima
38	0.828	0.855	0.847	diterima

Dari tabel diatas didapat 6 buah titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 23 titik yang diterima atau 79.3% dari keseluruhan koordinat Y.

c. Model 3D Redmi Note 3 Pro

Nilai koordinat X pada 3D rata-rata kesalahan sebesar 0.007 meter dengan nilai standar deviasi 0.003 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.086 meter.

Tabel 4. 15 Uji t *student* Pada Koordinat X

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat X (meter)	Keterangan
2	1006.771	1006.797	1006.787	diterima
3	1005.758	1005.784	1005.773	diterima
4	1004.827	1004.853	1004.842	diterima
6	1005.840	1005.866	1005.860	diterima
7	1005.836	1005.862	1005.858	diterima
9	1005.300	1005.326	1005.317	diterima
10	1005.294	1005.320	1005.311	diterima
11	1005.234	1005.260	1005.255	diterima
13	1003.834	1003.860	1003.850	diterima
14	1003.615	1003.641	1003.631	diterima
15	1003.347	1003.373	1003.367	diterima

Lanjutan Tabel 4.15

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat X (meter)	Keterangan
17	1004.408	1004.434	1004.425	diterima
18	1004.408	1004.434	1004.426	diterima
19	1004.511	1004.537	1004.531	diterima
20	1004.351	1004.377	1004.372	diterima
21	1004.205	1004.231	1004.227	diterima
23	1003.851	1003.878	1003.873	diterima
24	1004.925	1004.951	1004.948	diterima
25	1006.146	1006.173	1006.169	diterima
27	1004.750	1004.777	1004.770	diterima
28	1004.701	1004.727	1004.723	diterima
29	1004.699	1004.726	1004.723	diterima
31	1006.662	1006.689	1006.687	diterima
32	1006.993	1007.020	1007.016	diterima
33	1007.315	1007.341	1007.336	diterima
34	1006.234	1006.261	1006.257	diterima
35	1006.235	1006.262	1006.261	diterima
36	1006.148	1006.175	1006.176	tidak diterima
38	1006.429	1006.456	1006.456	diterima

Dari tabel diatas didapat 1 buah titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 28 titik yang diterima atau 96.5% dari keseluruhan koordinat X.

Nilai koordinat Y pada 3D rata-rata kesalahan sebesar 0.004 meter dengan nilai standar deviasi 0.002 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.065 meter.

Tabel 4. 16 Uji *t student* Pada Koordinat Y

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat Y (meter)	Keterangan
2	992.601	992.627	992.619	diterima
3	992.862	992.888	992.880	diterima
4	993.125	993.151	993.140	diterima
6	991.942	991.968	991.958	diterima
7	991.951	991.977	991.968	diterima
9	992.218	992.244	992.235	diterima
10	992.222	992.248	992.238	diterima
11	992.290	992.316	992.308	diterima
13	992.444	992.470	992.453	diterima
14	991.588	991.614	991.597	diterima
15	990.507	990.533	990.513	diterima
17	991.461	991.487	991.472	diterima
18	991.457	991.483	991.468	diterima
19	992.075	992.101	992.088	diterima
20	991.447	991.473	991.458	diterima
21	990.895	990.921	990.902	diterima
23	989.792	989.819	989.800	diterima
24	989.539	989.566	989.548	diterima
25	989.247	989.274	989.261	diterima
27	990.398	990.425	990.409	diterima
28	990.363	990.390	990.371	diterima
29	990.362	990.389	990.369	diterima
31	989.580	989.606	989.592	diterima
32	990.791	990.817	990.812	diterima
33	992.014	992.041	992.037	diterima
34	990.974	991.001	990.992	diterima

Lanjutan Tabel 4.16

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat Y (meter)	Keterangan
35	990.976	991.003	990.993	diterima
36	990.423	990.450	990.438	diterima
38	991.521	991.548	991.546	diterima

Dari tabel diatas didapat 29 buah titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 29 titik yang diterima atau 100% dari keseluruhan koordinat Y.

Nilai koordinat Z pada 3D rata-rata kesalahan sebesar 0.024 meter dengan nilai standar deviasi 0.036 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.155 meter.

Tabel 4. 17 Uji t *student* Pada Koordinat Z

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat Z (meter)	Keterangan
2	2.163	2.189	2.182	diterima
3	2.153	2.179	2.168	diterima
4	2.150	2.177	2.162	diterima
6	1.599	1.626	1.618	diterima
7	0.845	0.871	0.863	diterima
9	1.823	1.850	1.837	diterima
10	1.232	1.259	1.249	diterima
11	0.506	0.532	0.521	diterima
13	2.151	2.178	2.162	diterima
14	2.153	2.180	2.163	diterima
15	2.122	2.149	2.133	diterima
17	1.875	1.902	1.888	diterima

Lanjutan Tabel 4.17

Nama titik	Batas Bawah (meter)	Batas Atas (meter)	Koordinat Z (meter)	Keterangan
18	1.417	1.444	1.430	diterima
19	0.710	0.737	0.723	diterima
20	0.699	0.726	0.712	diterima
21	0.726	0.753	0.739	diterima
23	2.051	2.078	2.154	tidak diterima
24	2.047	2.074	2.153	tidak diterima
25	2.046	2.072	2.156	tidak diterima
27	1.822	1.848	1.927	tidak diterima
28	0.748	0.774	0.853	tidak diterima
29	0.307	0.334	0.412	tidak diterima
31	2.132	2.159	2.163	tidak diterima
32	2.144	2.171	2.172	tidak diterima
33	2.125	2.152	2.155	tidak diterima
34	1.886	1.913	1.915	tidak diterima
35	1.239	1.266	1.268	tidak diterima
36	0.823	0.850	0.851	tidak diterima
38	0.828	0.855	0.856	tidak diterima

Dari tabel diatas didapat 13 buah titik yang tidak diterima dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sehingga terdapat 16 titik yang diterima atau 55.1 % dari keseluruhan koordinat Y.

Nilai koordinat Z pada 3D rata-rata kesalahan sebesar 0.0084 meter dengan nilai standar deviasi 0.003 meter dan memiliki RMSe sebesar 0.0915 meter.

4.2.5 Level of detail

Ketiga Model 3D Pos jaga yang dihasilkan oleh tiga jenis kamera *smartphone* memiliki *Level of Detail* (LoD) ordo 3 dikarenakan sebagai berikut:

1. Model yang dihasilkan berupa penampakan exterior bangunan
2. Akurasi posisi yang digambarkan besar *Root Mean Square* (RMSE) masuk batas toleransi LoD 3 sebesar 0.5 meter, besar *Root Mean Square Error* (RMSE) seperti berikut :
 - a. Model 3D menggunakan Samsung A5
 - RMSE Koordinat X 0.092 meter
 - RMSE Koordinat Y 0.081 meter
 - RMSE Koordinat Z 0.141 meter
 - b. Model 3D menggunakan iPhone 7 Plus
 - RMSE Koordinat X 0.058 meter
 - RMSE Koordinat Y 0.043 meter
 - RMSE Koordinat Z 0.142 meter
 - c. Model 3D menggunakan Redmi Note 3 Pro
 - RMSE Koordinat X 0.087 meter
 - RMSE Koordinat Y 0.065 meter
 - RMSE Koordinat Z 0.155 meter
3. Struktur yang terbentuk sesuai dengan objek sesungguhnya.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Kamera *smartphone* yang diujikan dapat membuat model 3D dengan baik. Hal ini dikarenakan RMSE yang dihasilkan dari setiap model kurang dari 0.5 meter dan model sesuai dengan bentuk objek, dimana batas *error* tersebut masuk dalam kategori LoD3. Untuk RMSE X terbesar pada Samsung A5 dengan nilai 0.092 meter terkecil pada iPhone 7 plus dengan nilai 0.058 meter, Untuk RMSE Y terbesar pada Samsung A5 dengan nilai 0.081 meter terkecil pada iPhone 7 plus dengan nilai 0.043 meter, Untuk RMSE Z terbesar pada Redmi Note 3 Pro dengan nilai 0.155 meter terkecil pada Samsung A5 dengan nilai 0.141 meter,
2. Untuk membandingkan kemampuan kamera *smartphone* yang lebih baik dilakukan uji t atau t *test* dengan tingkat kepercayaan 90% pada masing-masing hasil ICP disetiap model yang dibentuk. Pada tahap uji t didapatkan hasil sebagai berikut, *Smartphone* iPhone 7 Plus memiliki performa yang tinggi disusul dengan Samsung A5 (2017) dan terakhir Redmi Note 3 Pro. Dengan nilai sebesar: Samsung A5 (2017) 87.35%, iPhone 7 plus 93.10%, dan Redmi Note 3 Pro 83.90%.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Pada saat pengambilan foto sebaiknya menggunakan tripod atau stabilizer untuk mengurangi guncangan dan mendapatkan sudut pengambilan gambar yang konstan.

2. Menggunakan jarak pengambilan gambar terhadap objek yang sama. Lakukan analisis perbandingan untuk objek didalam dan diluar ruang. Serta lakukan analisis pengaruh terhadap sensor kamera

DAFTAR PUSTAKA

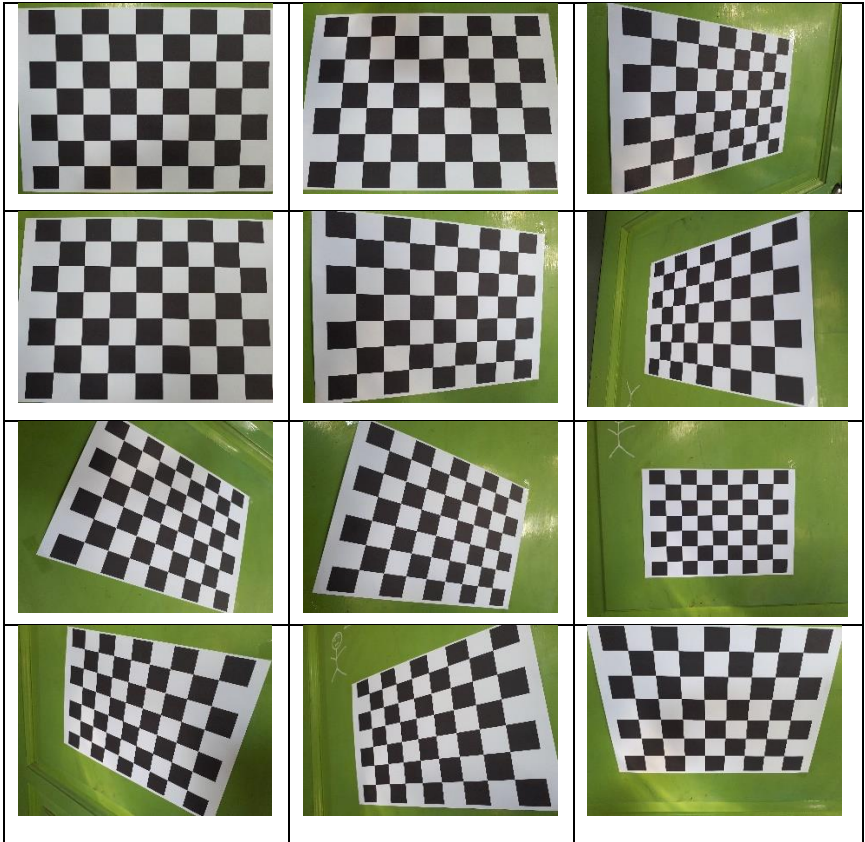
- Agapiou A. & Georgeopoulos A. Photogrammetric Potential of Digital Camera in Handheld Gadgets for Digital Close Range Application. The 7th International Symposium of Virtual Reality, Archeology and Cultural Heritage VAST, Cypr 2006.
- Atkinson, K.B. 1996. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing. Scotland, UK.
- Bakula, K. 2014. Capabilities of a *smartphone* for georeferenced 3D model creation: an evaluation.
- Biljecki, F. 2013 The concept of level of detail in 3D city models. TU Delft.
- Fan, H., & Meng, L. 2009. Automatic Derivation of Different Levels of Detail For 3D Buildings Modeled by CityGML. Munich: Technische Universität München.
- Hanief, H., dkk. 2013. Rekonstruksi Model 3D Menggunakan Foto Udara Untuk Menduga Tiga Objek. Globe Volume 15 No. 2 Desember 2013: 114 – 120.
- Hanifa, N.R. 2007. Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metric Auto Focus Untuk Pemantauan Deformasi. Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Harahap, J.S., Hapsari, H. 2016. Visualisasi 3D Objek Menggunakan Teknik Fotogrametri Jarak Dekat. Surabaya : Jurnal Teknologi ITS Vol. 5 No 1 (2016) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).
- Hidayat, H., Cahyono, A,B. 2012. Optimalisasi Image-Based Modeling Pada Google Sketchup Menggunakan Kamera Digital Terkalibrasi. Surabaya : Seminar Nasional Pascasarjana XII – ITS, Surabaya 12 Juli 2012.
- Katoch, C.2013. Close Range Photogrammetric Applications for 3-D realistic reconstruction of objects using still images.

- Faculty of Geo-information Science and Earth Observation of the University of Twente.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., dan Harley, I. 2006. Close Range Photogrammetry Principles, techniques and applications. Scotland, UK : Whittles Publishing.
- Maharani, M. 2015. Analisis Ketelitian Model Tiga Dimensi Bangunan Besar yang Dihasilkan dari Metode Fotogrametri Jarak Dekat. Yogyakarta : Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Maulana, A. 2015. Ini Bedanya HP Entry-level, Mainstream, High-End, dan Flagship. <www.droidlime.com/artikel/ini-bedanya-hp-entry-level-mainstream-high-end-flagship.html>. diakses pada 6 september 2017 pukul 20.26 WIB.
- Mulia, D dan Hapsari, H. 2014. Studi Fotogrametri Jarak Dekat (Close Range Potogrammetry) Dalam Penentuan Suatu Objek. Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya.
- Nurjati, C. 2004. Modul Ajar Ilmu Ukur Tanah I. Surabaya: Prodi Teknik Geodesi ITS.
- Prasetyo, D. A. Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Candi Gedong Songo<download.portalgaruda.org/article.php?article=64186&val=4685>. Diakses pada 9 September 2017 pukul 23.30 WIB.
- Sasmito, B., 2015. Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat Untuk Pemodelan 3D Tugu Muda Semarang. Semarang Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Sasmito, B., 2015. Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat Untuk Pemodelan 3D Gereja Bleduk. Semarang Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

- Suharsana, 1997, *Fotogrametri Dasar*, Jurusan teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Snavely, K. 2008. University of Washington. Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections. University of Washington.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. 2012. Structure-from-motion' photogrammetry : a low cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 300-314.
- Wolf, P.R., 1983, *Elements of Photogrammetry*, 2nd edition. McGraw-Hill Book Company. USA.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. *Calibration Chart (3 x 3 cm)*

Lampiran 2. Spesifikasi Electronic Total Station

Specifications Total Station		
Distance Measurement		
Laser output		
Measuring Range	Reflector-less ^{*2}	350m (1,148 ft.)
	Reflector (60mmx60mm)	800m (2.624 ft.)
	Single prism	2000m to 2500m (6,560 ft. to 8,200ft.)
	Three prism	5000m (16,400ft.) under good condition ^{*3}
Accuracy	Reflector-less	$\pm (3+2\text{ppm} \times D)$ mm
	Prism	$\pm (2+2\text{ppm} \times D)$ mm
Measuring Time	Reflector-less	Fine/Repeat 2s, tracking 1.5s
	Prism	Find 1.5s, Repeat 1s, tracking 0.5s

Lanjutan Lampiran 2

Telescope	
Magnification	30X
Field of View	1°30'
Minimum Focusing Distance	1.5m (4.9ft.)
Reticle	Illuminated
Compensator	
System	Single-axis liquid-electric tilt sensor
	Dual-axis (optional)
Working Range	±3' (±56 mgon)
Setting Accuracy	1"(0.3 mgon)

Lanjutan Lampiran 2

Spesification Total Station		
General		
Communication	Internal Data Memory	Approx. 20,000 Points
	Interface	Standard RS232 port, SD card ^{*4} , mini USB , standard USB port (Bluetooth optional)
	Data Format	ASCII (DXF/GSI optional)
	Operation system	Real-time English Operating System
	Display	Graphics:192*96 dots /backlight / Character:6 lines*12 characters/ contrast adjustment
	Keyboard	2 sides Alphanumeric keyboard

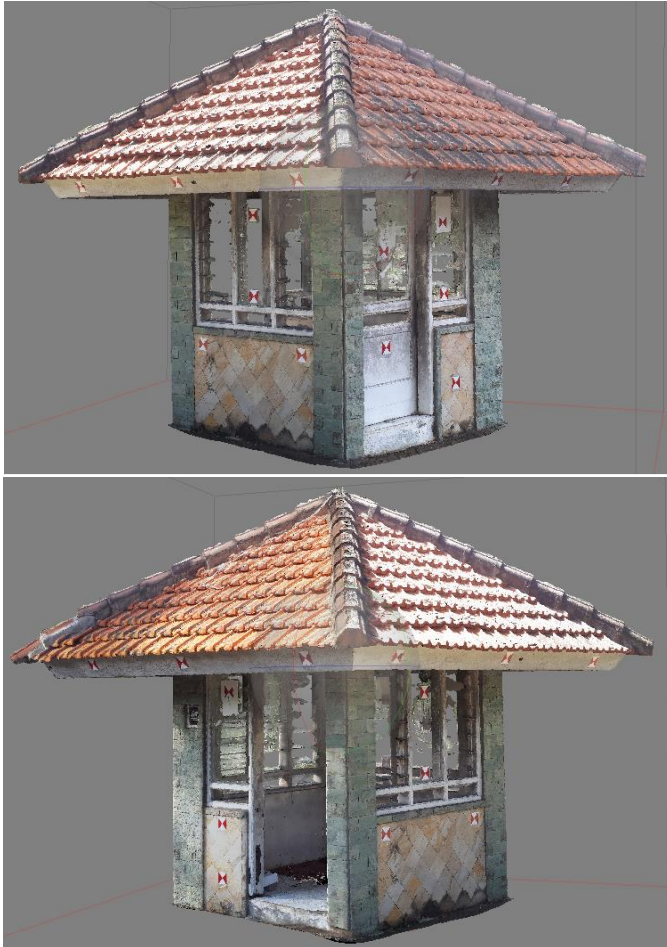
Lanjutan Lampiran 2

Spesification Total Station		
General		
Laser Plummet	Type	Laser diode, Brightness Adjustment in steps
		Optical plummet (optional)
	Beam Accuracy	1 mm (1.5m instrument height)
Power supply	Battery Type	Rechargeable Li-ion battery
	Voltage/Cap acity	ZBA-400:7.4V(DC) / 3000mAh
	Operating time with ZBA-400	Optimal 16 hrs ^{*5} (single distance measurement every 30 second)
	Measuring times	Around 12000 times
Weight (Incl. Battery &Tribrach)		Approx. 5.5kg (12.1lb.)

Lanjutan Lampiran 2

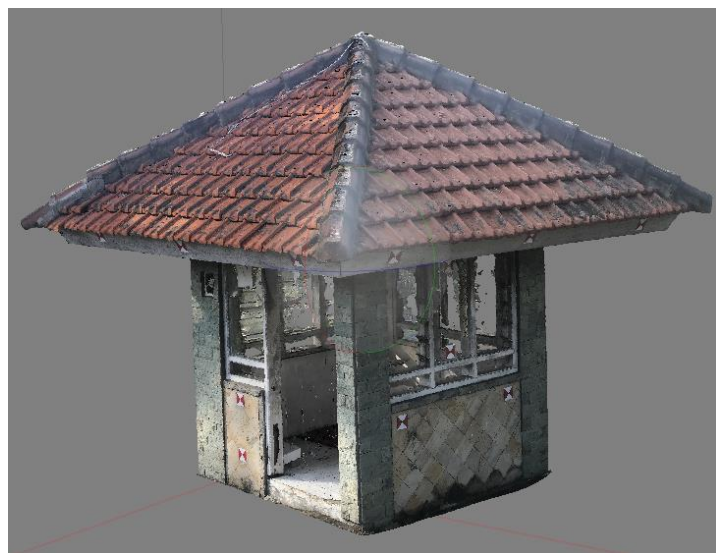
Spesification Total Station		
General		
Environmental	Operating temperature	-20°C to + 50°C(- 4°Fto +122°F)
	Storage temperature	-40°C to + 70°C(- 40°Fto + 158°F)
	Dust &Water proofing (IEC60529 Standard)	IP55

Lampiran 3. Model 3D Samsung A5 (2017)



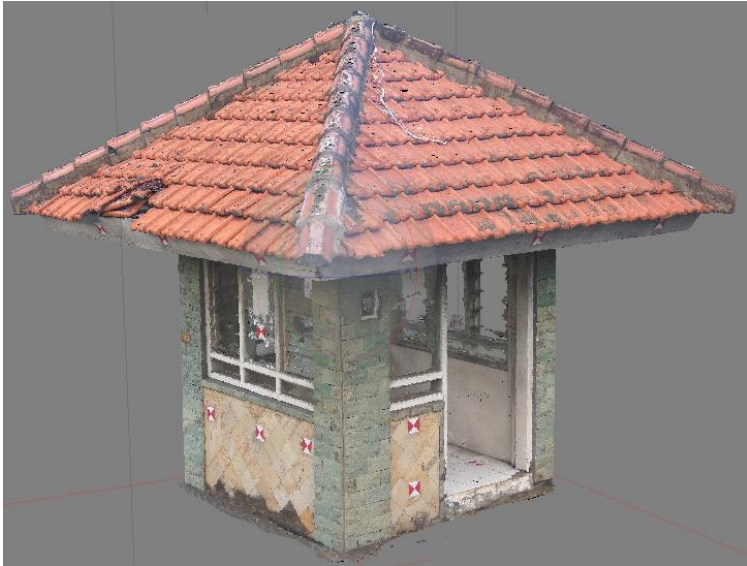


Lampiran 4. Model 3D iPhone 7 Plus





Lampiran 5. Model 3D Redmi Note 3 Pro





Lampiran 6. Dokumentasi Lapangan



“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 19 November 1994, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 01 Jakarta Timur, SMPN 147 Jakarta Timur, dan SMAN 58 Jakarta Timur. Setelah lulus dari SMA, memilih melanjutkan kuliah S-1 dengan mengikuti program Mandiri dan diterima di Teknik Geomatika – FTSLK, pada tahun 2013 terdaftar dengan NRP 0331134000088. Di Teknik Geomatika penulis memilih bidang kajian Fotogrametri. Penulis aktif sebagai keanggotaan HIMAGE-ITS dan ditunjuk sebagai panitia pada beberapa acara himpunan dan kegiatan seminar baik yang diselenggarakan oleh HIMAGE-ITS maupun yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Geomatika. Pada penelitian tugas akhir ini penulis mengambil judul Analisis Potensi Kamera Smartphone Untuk Pemodelan 3 Dimensi Dengan Fotogrametri Jarak Dekat.